

(11) 特許出願公開番号

(43) 公開日 平成10年(1998)5月15日

技術表示箇所

HOIS 3/18

(74) 代理人 弁理士 前田 弘 (外 2 名)

BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを具備する面発光半導体レーザであって、

前記二つのミラーの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第 1 層、および複数の第 2 層を含む分布ブラッグリフレクタ (DBR) 構造を有しており、

前記 DBR 構造に含まれる前記複数の第 1 層のうち一部の選択された層のみが、アルミニウムを含む選択酸化領域と、前記選択酸化領域に囲まれたコア半導体領域とを有している面発光半導体レーザ。

【請求項 2】 請求項 1 記載の面発光半導体レーザであって、

前記コア半導体領域はアルミニウムを含む半導体から形成されており、前記第 2 層は前記アルミニウムを含む半導体に格子整合する半導体から形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 3】 請求項 2 記載の面発光半導体レーザであって、

前記複数の第 1 層のうち前記選択酸化領域を有する層は、この層を含む DBR 構造内において、前記複数の第 1 層のうち前記選択酸化領域を有していない層よりも前記活性領域に近い位置に配置されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 4】 請求項 3 記載の面発光半導体レーザであって、

前記 DBR 構造は、少なくとも一部にメサを含んでいることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 5】 請求項 4 記載の面発光半導体レーザであって、

前記 DBR 構造の前記メサは、外径寸法の異なる二つのメサ部分を含んでおり、

前記選択酸化領域は、前記二つのメサ部分のうち前記活性層に近い側のメサ部分に形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 6】 請求項 4 記載の面発光半導体レーザであって、

前記 DBR 構造の前記メサは、少なくともその一部にテーパ部分を含んでおり、前記テーパ部分は傾斜した側壁を有していることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 7】 請求項 6 記載の面発光半導体レーザであって、

前記メサの前記傾斜した側壁の少なくとも一部は、電極で覆われていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 8】 請求項 7 記載の面発光半導体レーザであって、

前記複数の第 1 層のうち、端面が前記電極に覆われているものは前記選択酸化領域を實質的に有していないことを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 9】 請求項 1 記載の面発光半導体レーザであ

って、

前記 DBR 構造の前記第 1 層と前記第 2 層との間には中間層が介在していることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 10】 請求項 1 記載の面発光半導体レーザであって、

前記二つのミラーのそれぞれが、前記 DBR 構造を有しており、

いずれの前記 DBR 構造も前記選択酸化領域と前記コア半導体領域とを有していることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 11】 請求項 1 記載の面発光半導体レーザであって、

前記二つのミラーの一方は、誘電体多層膜から形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 12】 請求項 2 記載の面発光半導体レーザであって、

前記コア半導体領域は AlAs から形成されており、前記第 2 層は GaAs から形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 13】 発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを具備する面発光半導体レーザであって、

前記二つのミラーの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第 1 層、および複数の第 2 層を含む分布ブラッグリフレクタ (DBR) 構造を有しており、

前記 DBR 構造に含まれる前記複数の第 1 層のうち一部の選択された層のみが、表面バッシベート領域と、前記表面バッシベート領域に囲まれたコア半導体領域とを有している面発光半導体レーザ。

【請求項 14】 請求項 13 記載の面発光半導体レーザであって、

前記表面バッシベート領域は選択酸化工程によって形成されていることを特徴とする面発光半導体レーザ。

【請求項 15】 一つの基板に複数の垂直共振器が配列された面発光半導体レーザであって、

前記複数の垂直共振器に共有される単一の第 1 ミラーと、前記複数の垂直共振器のそれぞれに対応した複数の第 2 ミラーと、前記複数の第 2 ミラーと前記第 1 ミラーとに挟まれた複数の活性領域とを備えており、

前記第 1 ミラーおよび第 2 ミラーのうちの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第 1 層、および複数の第 2 層を含む分布ブラッグリフレクタ (DBR) 構造を有しており、

前記 DBR 構造に含まれる前記複数の第 1 層のうち一部の選択された層のみが、アルミニウムを含む選択酸化領域と、前記選択酸化領域に囲まれたコア半導体領域とを有している面発光半導体レーザ。

【請求項 16】 発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを備えた面発光半導体レーザの

製造方法であって、

アルミニウムを含む複数の第 1 層、および複数の第 2 層を含む多層膜を形成する工程と、

第 1 回メサエッチングによって前記多層膜を部分的にエッチングし、それによって前記多層膜から上部メサ部分を形成し、前記上部メサ部分の側壁を露出させる工程と、

前記上部メサ部分の前記側壁を保護膜で覆う工程と、

第 2 回メサエッチングによって前記多層膜をさらに深くエッチングし、それによって下部メサ部分を形成し、前記下部メサ部分の側壁を露出させる工程と、

前記下部メサ部分の前記側壁から、前記下部メサ部分に含まれる前記第 1 層を選択的に酸化する工程と、を包含する面発光半導体レーザの製造方法。

【請求項 17】 請求項 16 記載の製造方法であって、前記第 1 回メサエッチングは、前記上部メサ部分の前記側壁を傾斜させるように行うことを特徴とする面発光半導体レーザの製造方法。

【請求項 18】 請求項 17 記載の製造方法であって、前記保護膜は導電性材料から形成され、電極の一部を構成することを特徴とする面発光半導体レーザの製造方法。

【請求項 19】 請求項 16 記載の製造方法であって、前記酸化工程が H_2O_2 を用いて行うことを特徴とする面発光半導体レーザの製造方法。

【請求項 20】 請求項 16 記載の製造方法であって、前記酸化工程は、塩化鉄を加えた H_2O_2 を用いて行うことを特徴とする面発光半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、面発光半導体レーザおよびその製造方法に関し、特に選択酸化プロセスを用いて製造される垂直共振器型の面発光半導体レーザ (Vertical-Cavity Surface-Emitting laser: VCSEL) およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】垂直共振器型の面発光半導体レーザ (以下、簡単に「VCSEL」と称することがある) によれば、断面が円形をした光ビームを得ることができるだけでなく、複数の発光部分を二次元的に単一基板上に高密度に集積化することもできる。また面発光レーザは低い消費電力で動作し、低コストで製造することができる。このような特徴のため、VCSEL は次世代の光通信および光情報処理のための光源として注目され、これまでに様々な研究・開発が行われている。

【0003】最近、GaAs 系 VCSEL のミラーを構成している半導体層 (たとえば AlGaAs 層) を選択的に酸化することによって、VCSEL の性能を向上させる研究が盛んに行われている。この選択酸化プロセスを用いた VCSEL の一例が、エレクトロニクス・レタ

ーズ、第 31 巻 (1995)、第 560 頁から第 562 頁 (Electronics Letters, 31 (1995), P. 560-562) に記載されている。

【0004】図 9 は、上記文献に開示されている VCSEL の構造を模式的に示す断面図である。図 9 の VCSEL 900 は、n 型 GaAs 基板 910 上に配置された垂直共振器を備えており、この共振器は、n-DBR 920、InGaAs/GaAs 歪量子井戸 930 および p-DBR (Distributed Bragg Reflector) 940 を基板側からこの順序で備えている。p 型 DBR および n 型 DBR のいずれも、GaAs 層 941 および AlAs/Al₂O₃ 層 942 が交互に堆積された多層構造を有しており、この多層構造は基板 910 に至るまでメサ状にエッチングされている。AlAs/Al₂O₃ 層 942 は、メサ中央部に位置する AlAs 領域と、それを取り囲む Al₂O₃ 領域とから形成されている。Al₂O₃ 領域は、メサエッチング工程の後にメサ側壁から横方向に AlAs 層を部分的に酸化することによって得られる。メサ全体はポリイミド 950 で保護されている。出力光 960 は基板 910 の裏面より取り出される。

【0005】次に、VCSEL 900 の動作を説明する。

【0006】Al₂O₃ 領域 (図 9 中で斜線でハッチングされている部分) は絶縁体であるため、電流はメサ中央部 (白い部分) の狭い AlAs 領域を流れる。このため、電流閉じ込め効果が高められる。AlAs/Al₂O₃ 層 942 において、AlAs 領域の屈折率は Al₂O₃ 領域の屈折率とは異なるため、屈折率導波構造が形成され、光の横方向閉じ込めを実現する。これらの電流および光の閉じ込め効果によって、しきい値電流の大幅な低減が期待される。

【0007】メサ側壁にはメサエッチングによる薄いダメージ層が形成されており、このダメージ層には非発光再結合中心が存在する。このためメサ側壁近傍を流れる電流は発光に寄与しない無効電流となる。メサ中央部にしか電流が流れないこの構造は無効電流をほとんどゼロにすることができるので、しきい値電流のさらなる低減を期待できる。VCSEL 900 は、しきい値電流 70 μ A (マイクロアンペア) という世界最小の値を実現している。

【0008】他の従来例がアブライド・フィジックス・レター、第 66 巻 (1995)、第 3413 頁から第 3415 頁 (Applied Physics Letter, 66 (1995), P. 3413-3415) に記載されている。図 10 は、上記文献に開示されている VCSEL 1000 の構造を模式的に示す断面図である。

【0009】VCSEL 1000 は、n-DBR 1010 の上に、活性層 1020 および p-DBR 1030 が積層された構造を備えている。この積層構造を n-DBR 1010 までエッチングすることによりメサが形成されている。また、p-DBR 1030 の上にはリング状の p 側電極 1040 が形成されている。p-DBR は A

1 GaAsとGaAsとを交互に積層した多層構造を有している。多層構造の最下層に位置する1層のAlGaAs層のみがAl組成=0.98のAl_{0.98}Ga_{0.02}As層1032から形成され、その他の層はAl組成=0.9のAl_{0.9}Ga_{0.1}As層とGaAs層から形成されている。その結果、Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs構造のDBR1033が上部ミラーとして機能する。

【0010】この従来例では、Al_{0.9}Ga_{0.1}AsおよびAl_{0.9}Ga_{0.1}Asの酸化レート差(約15:1)を利用して、Al_{0.9}Ga_{0.1}As層1032のみを選択的に酸化し、Al₂O₃領域1031を形成している。

【0011】VCSEL1000の動作原理は基本的に図9のVCSEL900の場合と同じであり、低いしきい値電流のVCSELが実現される。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】第1の従来技術によれば、数μWオーダーの光出力しか得られていない。また、第2の従来技術では、1層だけを酸化するために、Al組成の異なる2種類のAlGaAs層を用いたハイブリッドなミラー構成を採用している。より詳細には、選択酸化される一つの層には、酸化されやすいAlGaAs層(Al組成が大きい)を用い、他の酸化しないAlGaAs層のAl組成は小さくしている。このような構成によれば、ミラーの大部分にGaAs層の屈折率に近い屈折率を示すAlGaAs層(Al組成が小さい)を用いなければならない。ミラーを構成するGaAs層とAlGaAs層との間の屈折率差が小さい場合、十分な反射率を達成するためには、大きなAl組成のAlGaAs層を用いる場合よりもミラーの層数を多くしなければならない。これは製造コストを上昇させるだけでなく、ミラー抵抗を増加させるという問題を引き起こす。

【0013】本発明は斯かる諸点に鑑みてなされたものであり、その主な目的は、抵抗の低いミラーを用いながら低いしきい値電流での動作を可能とし、しかも高い光出力を達成する面発光半導体レーザとその製造方法を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明では、ミラーを構成する複数の第1層にアルミニウムを含む層を用い、また、そのミラーを構成する複数の第2層に第1層とは屈折率と酸化レートの異なる層を用い、複数の第1層のうち選択された一部の層のみを酸化することによって、電流狭窄のための選択酸化領域を部分的に配置している。

【0015】具体的には、本発明の第1の面発光半導体レーザは、発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを具備する面発光半導体レーザであって、前記二つのミラーの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第1層および複数の第2層を含む分布ブ

ラッグリフレクタ(DBR)構造を有しており、前記DBR構造に含まれる前記複数の第1層のうち一部の選択された層のみが、アルミニウムを含む選択酸化領域と、前記選択酸化領域に囲まれたコア半導体領域とを有している。

【0016】これにより、DBR構造に含まれる一部の層のみが、電流を阻止する選択酸化領域を含むこととなるため、DBR構造全体の電気抵抗増加を抑制しながら、電流をコア半導体領域で規定される狭い空間に効率的に狭窄することができる。その結果、活性領域注の発光層のうち狭い領域に電流が注入され、低いしきい値電流でレーザ発振が達成される。DBR構造は、複数の第1層、および、複数の第2層を含み、それらの層の屈折率の違いから反射器として機能する。

【0017】ある実施形態では、前記コア半導体領域はアルミニウムを含む半導体から形成されており、前記第2層は前記アルミニウムを含む半導体に格子整合する半導体から形成される構成とすることができる。これにより、DBR構造の電流が通過する範囲内では至起码半導体が積層していることとなる。

【0018】前記複数の第1層のうち前記選択酸化領域を有する層は、この層を含むDBR構造内において、前記複数の第1層のうち前記選択酸化領域を有していない層よりも前記活性領域に近い位置に配置されていることが好ましい。これにより、活性領域に近い位置に電流狭窄のための構造が配置されることとなるため、効率的な電流狭窄が達成される。また、コア半導体領域と選択酸化領域との間にある横方向屈折率差に起因して、発光層で生じた光がコア半導体領域に規定される範囲内に閉じこめられる。

【0019】前記DBR構造は、少なくとも一部にメサを含んでいる構成とすることができる。これにより、メサにより電流密度が高められ、より低いしきい値でのレーザ発振が実現する。また、メサの外周部から選択酸化領域を形成することができ、狭いコア半導体領域を簡単に設けることができる。

【0020】前記DBR構造の前記メサは、外径寸法の異なる二つのメサ部分を含んでおり、前記選択酸化領域は、前記二つのメサ部分のうち前記活性層に近い側のメサ部分に形成されている構成とすることができる。これにより、メサの電気抵抗増加を抑制しながら、電流狭窄の実効をあげることができる。

【0021】前記DBR構造の前記メサは、少なくともその一部にテーパ部分を含んでおり、前記テーパ部分は傾斜した側壁を有している構成とすることができる。これにより、DBR構造のテーパ部分を保護膜で覆うことが容易になる。そのため、製造に際して、DBR構造のテーパ部分中の第1層は酸化することなく、それ以外の部分に含まれる第1層を選択的に酸化することが容易となる。その結果、製造コストが低減される。

【0022】前記メサの前記傾斜した側壁の少なくとも一部は、電極で覆われている構成とすることができる。これにより、電極とメサとの接触抵抗が減少し、より一層ミラー部分の垂直抵抗が低減される。

【0023】前記複数の第1層のうち、端面が前記電極に覆われているものは前記選択酸化領域を実質的に有していない構成とすることができる。これにより、電極は、製造工程において選択酸化工程の際の保護膜として機能し得ることとなる。

【0024】前記DBR構造の前記第1層と前記第2層との間には中間層が介在している構成とすることができる。これにより、DBR構造を構成する層の間に歪みなどが生じないようにすることが可能となり、その結晶性が向上する。

【0025】前記二つのミラーのそれぞれが前記DBR構造を有し、いずれの前記DBR構造も前記選択酸化領域と前記コア半導体領域とを有している構成とすることができる。これにより、二つのミラーの双方に電流狭窄のための選択酸化領域が配置されることとなる。そのため、発光層の狭い範囲に電流を効率的に注入することが

【0026】前記二つのミラーの一方は、誘電体多層膜から形成されている構成とすることができる。

【0027】前記コア半導体領域はAlAsから形成されており、前記第2層はGaAsから形成されている構成とすることができる。これにより、選択酸化領域を容易に形成できる。AlAsはGaAsに比較して著しく酸化されやすいからである。また、AlAsとGaAsとの間の屈折率差が大きく、少ない層数でミラーの高い反射率を得ることができる。

【0028】本発明による他の面発光半導体レーザは、発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを具備する面発光半導体レーザであって、前記二つのミラーの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第1層および複数の第2層を含む分布ブラッグリフレクタ(DBR)構造を有しており、前記DBR構造に含まれる前記複数の第1層のうち一部の選択された層のみが、表面バッシベート領域と、前記表面バッシベート領域に囲まれたコア半導体領域とを有している。これにより、ミラー抵抗を全く増加させることなく、無効電流を低減できる。DBR構造の側面は、製造時に受ける損傷によって無効電流を発生させる非発光再結合中心等の結晶欠陥を多数含んでいるが、それらが表面バッシベート領域に置き代わることで、無効電流の原因が減少するからである。

【0029】前記表面バッシベート領域は選択酸化工程によって形成されている構成とすることができる。これにより、容易にバッシベート領域を形成できることとなる。選択酸化工程によれば、欠陥を含む第1および第2層の表面を簡単にバッシベートできるからである。

【0030】本発明の更に他の面発光半導体レーザは、一つの基板に複数の垂直共振器が配列された面発光半導体レーザであって、前記複数の垂直共振器に共有される単一の第1ミラーと、前記複数の垂直共振器のそれぞれに対応した複数の第2ミラーと、前記複数の第2ミラーと前記第1ミラーとに挟まれた複数の活性領域とを備えており、前記第1ミラーおよび第2ミラーのうちの少なくとも一方は、アルミニウムを含む複数の第1層および複数の第2層を含む分布ブラッグリフレクタ(DBR)構造を有しており、前記DBR構造に含まれる前記複数の第1層のうち一部の選択された層のみが、アルミニウムを含む選択酸化領域と、前記選択酸化領域に囲まれたコア半導体領域とを有している。これにより、面発光レーザのアレイが得られる。アレイを構成する各DBR構造について電流狭窄のための構成が設けられているため、しきい値電流が低減され、その結果、全体の消費電力が低くなる。

【0031】本発明の面発光半導体レーザの製造方法は、発光層を含む活性領域と、前記活性領域を挟む二つのミラーとを備えた面発光半導体レーザの製造方法であって、アルミニウムを含む複数の第1層、および複数の第2層を含む多層膜を形成する工程と、第1回メサエッチングによって前記多層膜を部分的にエッチングし、それによって前記多層膜から上部メサ部分を形成し、前記上部メサ部分の側壁を露出させる工程と、前記上部メサ部分の前記側壁を保護膜で覆う工程と、第2回メサエッチングによって前記多層膜をさらに深くエッチングし、それによって下部メサ部分を形成し、前記下部メサ部分の側壁を露出させる工程と、前記下部メサ部分の前記側壁から、前記下部メサ部分に含まれる前記第1層を選択的に酸化する工程と、を包含している。これにより、複数の第1層および複数の第2層を含む多層膜のうち一部だけを保護膜で覆うこととなるため、保護膜で覆われていない部分(下部メサ部分)中に位置する第1層のみを的確に酸化し、選択酸化領域を容易に形成することが可能となる。

【0032】前記第1回メサエッチングは、前記上部メサ部分の前記側壁を傾斜させるように行われる構成とすることができる。これにより、傾斜した上部メサ部分の側壁上に保護膜の堆積を行うことが簡単になる。

【0033】前記保護膜は導電性材料から形成され、前記保護膜は電極の一部を構成するようにしてもよい。これにより、保護膜を除去する必要がなくなり、製造工程が簡略化される。

【0034】前記酸化工程は、 H_2O_2 を用いて行われるようにしてもよい。これにより、選択酸化領域の形成が簡略化され、製造コストも低減される。

【0035】前記酸化工程は、塩化鉄を加えた H_2O_2 を用いて行われるようにしてもよい。これにより、塩化鉄の作用を利用して酸化速度を向上させることができる。

【0036】

【発明の実施の形態】以下に、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

【0037】（第1の実施形態）図1は、本発明の第1の実施形態による面発光半導体レーザ（VCSEL）100を模式的に示す断面図である。図1のVCSEL100は、p型GaAs基板110上に形成されている。VCSEL100は、p型下部ミラー120、活性領域130およびn型上部ミラー140を含むレーザ発振のための積層構造を有している。下部ミラー120は基板110の上に形成されており、活性領域130は下部ミラー120と上部ミラー140との間に挟まれている。以下に、上記積層構造の構成を詳しく説明する。

【0038】下部ミラー120は、24、5対のp型AlAs層（第1層に対応）とp型GaAs層（第2層に対応）を、p型中間層を間に挟みながら積層した構造を有しており、下側の分布反射器（Distributed Bragg Reflector: DBR）として機能する。同様に、上部ミラー140は、24、5対のn型AlAs層（第1層に対応）とn型GaAs層（第2層に対応）を、n型中間層を間に挟みながら積層した構造を有しており、上側の分布反射器（DBR）として機能する。

【0039】いずれのミラーも、図10の従来技術が採用しているハイブリッド構成ではなく、単一構成を有している。なお、本願明細書では、「単一構成」という文言を、図10の従来技術に用いられているような「ハイブリッド構成」とは異なる構造の意味で使用する。

【0040】活性領域130は、ウェル層として機能するIn_{0.1}Ga_{0.9}As層とバリア層として機能するGaAs層とを含む歪量子井戸を持つ活性層（発光層）131と、この活性層131を挟み込むAl_{0.1}Ga_{0.9}Asクラッド層とを有している。活性領域130は、波長が約980nmの光を発振するように設計されている。

【0041】VCSEL100はメサ150を有している。このメサ150は、2段のメサ部分を含んでおり、上部のメサ部分よりも下部のメサ部分のほうが大きな外径寸法を有している。より詳細には、本実施形態における上部メサ部分の外径は、約10μmであり、下部メサ部分の外径は約11μmである。このような二段構造を持つメサ150は、後述するように、2ステップのメサエッチング工程により形成される。上部メサ部分は、上部ミラー140の大部分を含んでいる。一方、下部メサ部分は、上部ミラー140の一部（底部）と、上部クラッド層と、活性層131と、下部クラッド層の一部とを含んでいる。第2回メサエッチングは、下部ミラー120の上面を完全に露出させる前に停止されているため、図1からわかるように、下部ミラー120の上面は下部クラッド層によって覆われている。

【0042】上部メサ部分に含まれるp型AlAs層の周辺部は酸化されていないが、下部メサ部分に含まれる

p型AlAs層の周辺部は選択的に酸化されている。その結果、下部メサ部分に含まれる各p型AlAs層は、周辺の選択酸化領域141と、選択酸化領域141に囲まれたコア状の半導体領域に分かれている。選択酸化領域141は電流アパーチャとして機能する。レーザ発振のための駆動電流は、絶縁性の選択酸化領域141によって狭窄される結果、コア半導体領域内を縦方向に流れる。コア半導体領域のサイズ（直径）は、横方向酸化の進行に応じて縮小する。この点に関して、詳細は後述する。

【0043】本実施形態によれば、メサ150を形成するためのエッチングは、活性層131と下部ミラー120の間に位置する下方クラッド層を部分的にエッチングする時点で停止されている。その結果、上部クラッド層と活性層131は、下部メサ部分に含まれているが、下部ミラー120はメサエッチングを全く受けず、メサ形状を有していない。このため、選択酸化工程によって下部ミラー120内のAlAs層は酸化されず、電流と光を狭窄するための選択酸化領域141は、活性層131の上側にのみ形成されている。

【0044】VCSEL110はさらに、上部ミラー140の上面に形成されたn側電極160と、p型基板110の裏面に形成されたp側電極170を有しており、これらの電極160および170によって活性領域130に電流が供給される。垂直共振器内で生じたレーザ光は、基板110の裏面から取り出される。

【0045】次に、図2(a)～(d)を参照しながら、VCSEL100の製造プロセスを説明する。なお、図2(a)～(d)の中では、図1で示したものと同一構成要素に同じ参照符号を付しており、その説明を省略する。

【0046】まず、図2(a)に示すように、半導体基板110上に、下部ミラー120、活性領域130および上部ミラー140のための複数の半導体層を、MBE法（分子線エピタキシー法）やMOCVD法（有機金属気相成長法）などによってエピタキシャル成長する。こうして得られたVCSELウェハに、n側電極160およびp側電極170を形成する。n側電極160は、上部メサ部分の位置および形状を規定するためのフォトマスクを用いてパターンニングされる。n側電極160は、たとえばAu/AuGe/Ni（Auの厚さ100nm：AuGeの厚さ150nm：Niの厚さ5nm）から形成され、p側電極170は、たとえばCr/Au（Crの厚さ50nm：Auの厚さ150nm）から形成される。

【0047】次に、Cl₂を用いたRIE法を用いて第1回メサエッチングを行う。エッチング条件は次の通りである。Cl₂:Ar:CF₄=1:10:3、パワー:500W、エッチング時間:50分。

【0048】n側電極160は、このエッチングに対す

るマスクとして機能する。このエッチングは、図2 (a)に示すように、上部ミラー140の途中のレベルでストップするように制御される。その結果、第1回メサエッチングは、上部ミラー140のうち、もっとも活性層131の近くに位置する2層のn型AlAs層をエッチングしないで残す。

【0049】次に、第1回メサエッチングで形成された上部メサ部分の上面および側壁を図2 (b)に示すようにSiO₂保護膜で覆う。このSiO₂保護膜は、たとえばプラズマCVD法を用いて厚さ500nmのSiO₂膜を基板の全面を覆うように堆積した後、SiO₂膜のうち第1回メサエッチングにより露出した上部ミラー内の面(基板表面に平行な面)に接触する部分を選択的に除去することによって得られる。このような選択的な除去を行うには、SiO₂保護膜の位置と形状を規定するためのフォトマスクが必要になる。このフォトマスクは、n側電極160のパターニングに用いたフォトマスクとはパターンサイズにおいて異なる。なお、スパッタリング法などの物理的蒸着法によってSiO₂保護膜を堆積する場合は、上部メサ部分にテーパーを設け、上部メサ部分の側壁を傾斜させることが必要になる。SiO₂保護膜の代わりにSi₃N₄保護膜を用いてもよい。

【0050】次に、Cl₂を用いたRIE法を用いて第2回メサエッチングを行う。エッチング条件は次の通りである。Cl₂:H₂=1:1、パワー:200W、加速電圧:500ボルト、エッチング時間:50分。SiO₂保護膜はこのエッチングに対するマスクとして機能する。このエッチングは、活性領域130の直下まで進行するように制御される。

【0051】続いて、図2 (c)に示すように、第2回メサエッチングによって露出した下部メサ部分の側壁から、下部メサ部分の内部へ酸化種を横方向に供給する。こうして、下部メサ部分に含まれるAlAs層の周辺部のみを選択的に酸化し、選択酸化領域141を形成する。アルミニウムを含むAlAsは、アルミニウムを含まないGaAsと比較して酸化速度が著しく大きく、その結果、選択酸化はAlAsに対して生じる。酸化種は、SiO₂保護膜を速やかに拡散できないため、側面がSiO₂保護膜によって覆われている上部メサ部分は酸化されない。このように、SiO₂保護膜は酸化防止膜または酸化マスクとしても機能する。

【0052】最後に、図2 (d)に示すように、CF₄を用いたRIE法でSiO₂保護膜を除去し、図1に示す構造を得る。

【0053】上述のように、図2 (c)のSiO₂保護膜は、上記選択酸化工程において上部メサ部分に含まれるAlAs層の選択酸化を阻止するように機能する。このSiO₂保護膜が十分に厚いと、SiO₂保護膜は強力な酸化防止膜として機能するため、上部メサ部分に選択酸化領域は形成されない。しかし、SiO₂保護膜の厚

さが比較的に薄いと、上部メサ部分にも選択酸化領域がわずかに形成されるかもしれない。たとえ上部メサ部分に比較的に小さな選択酸化領域が形成されたとしても、それによって生じる電流狭窄の影響が小さければ、ミラー抵抗の増加は相当に緩和される。従って、SiO₂保護膜が上部メサ部分の選択酸化を完全に阻止しない場合でも、光出力の向上をある程度は期待することができ、本実施形態の場合、SiO₂保護膜の好ましい厚さの範囲は、約300nmから約500nmである。

【0054】図3は、上記選択酸化のために用いた酸化装置の概略構成図である。図3に示すように、約80℃のH₂OでN₂をバブリングし、それによってH₂Oを含んだN₂を約380℃に加熱した炉の中に導入する。N₂の代わりに、Arなどの他の不活性ガスを用いてもよい。この炉の中にVCSELを入れ、VCSELの表面の一部を酸化させる。選択酸化領域のサイズ(メサ側壁表面からメサ中心方向へ計測した横方向のサイズ)は、酸化時間を制御することによって調整される。

【0055】図4は、酸化時間とVCSELの光出力特性との関係を示すグラフである。測定に用いたメサは円柱形状を持ち、その直径は10ミクロンである。図4の曲線は、酸化時間が0秒(酸化せず)、2分30秒そして4分30秒の場合の特性を示している。酸化時間が0秒の場合、しきい値電流は約4mAである。それに対して、酸化時間が2分30秒の場合、しきい値電流は約3.2mA、4分30秒の場合、約1.7mAである。図4のグラフからわかるように、酸化時間が増えるほど、しきい値電流は減少する。これは、酸化時間が増えるにつれ、選択酸化領域が横方向に大きくなり、その結果、電流狭窄の程度が強くなるからである。酸化時間が4分30秒の場合、横方向のサイズ(幅)が約1~2μmの選択酸化領域が形成され、コア半導体領域の直径は約11μmから約7~9μmに減少している。このようにメサ周辺における選択酸化領域141の存在は、電流および光の閉じ込めを達成し、かつ、無効電流を低減し、その結果、しきい値電流を低減する。本実施形態では、上部ミラー部分のうち、2層のAlAs層しか酸化していないので、ミラーの抵抗はほとんど増加しない。したがってデバイス動作時の発熱による問題もほとんど生じることなく、図4にみられるように、最大光出力が発熱により制限されることはない。

【0056】一方、酸化時間が2分30秒の場合、選択酸化領域はほとんど形成されていない。この場合に形成される選択酸化領域の横方向サイズは、0.1μm以下と考えられる。したがって、選択酸化領域の存在による電流および光の閉じ込め効果はほとんど期待できない。にもかかわらず、しきい値電流が十分に減少しているのは、メサ表層のダメージ層が選択酸化工程によりバッシュベートされ、それによって無効電流が低減したためであると思われる。

【0057】以上のように、本実施形態のVCSEL 100では、レーザメサ150を2段階のエッチングで形成している。そして上部メサ部分をSiO₂保護膜によって保護することで、下部メサ部分に含まれる上部ミラー140のAlAs層のみを選択的に酸化し、それによって2層の選択酸化領域141を形成している。この結果、選択酸化プロセスを用いても、上部ミラー140の抵抗を増大させることなく、しきい値電流を低減することができる。

【0058】ミラー抵抗を小さく保つという観点からは、選択酸化領域141の層数は1であることがもっとも好ましい。電流の横方向の閉じこめ効果は、選択酸化領域141が1層でも十分である。ただし、光の横方向の閉じこめ効果を高くするという観点から、選択酸化領域141は、光が活性層131から上下方向に広がり出る範囲内にできるだけ多く配置されることが好ましい。これらのことを勘案すると、選択酸化領域141の層数は好ましくは1から5までの範囲にあり、より好ましくは1～3までの範囲にあると考えられる。

【0059】なお、図1の実施形態とは別に、メサ150の側壁の最表層（たとえば表面から深さ0.1μm以下の領域）のみを薄く酸化し、選択酸化領域が電流の横方向狭窄に實質的に寄与しない実施形態を採用してもよい。前述のように、メサ表面を酸化雰囲気中にさらすだけで、メサ150の側壁表面に形成されたダメージ層をパッシベートすることができる（パッシベート領域の形成）からである。これによって、非発光再結合中心による無効電流を低減できるので、ミラー抵抗を全く増加させることなく、しきい値電流を低減することができる。

【0060】（第2の実施形態）図5は、本発明の第2の実施形態によるVCSEL 500の構成を模式的に示す断面図である。なお、第1の実施形態のVCSEL 100と同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、ここではその説明を省略する。

【0061】レーザメサ520の上部（上部ミラー140の頂上から活性領域130の途中まで）はテーパー形状を有している。このテーパー部分の上面と傾斜した側面とを覆うようにn側電極160が形成されている。また、レーザメサ520は、下部ミラー120を1対だけエッチングする深さまでエッチングすることによって形成されている。メサ520の側壁のうち、n側電極160で覆われていない部分からメサの内部に向かって横方向に1層の選択酸化領域510が延びている。

【0062】本実施形態では、図5に示すように、p型下部ミラー120の最上のAlAs層のみを選択的に酸化し、それによって横方向の電流狭窄を実現している。一方、第1の実施形態では、図1に示すように、n型上部ミラーのAlAs層を酸化して電流狭窄を行っている。これらの電流狭窄の違いによるVCSELの特性の違いを図6（a）および図6（b）を用いて説明する。

図6（a）はn型ミラー側で電流狭窄を行った場合の模式的断面図であり、第1の実施形態の場合に相当する。電流狭窄を行う選択酸化領域141と発光層である活性層131との間は、正確には図6（a）に示すようにある程度の距離（活性領域130の厚みの約半分）があるので、電流経路はその間に、ある程度広がることになる。したがって、実際の発光領域は、選択酸化領域141で狭窄された領域より大きくなる。この発光領域拡大の現象は、図6（b）のp型ミラー側で電流狭窄を行った（本実施形態の場合も同様の原理で起こる。しかしながら、電流経路の拡大が起こる活性領域130がn型であるか、p型であるかにより、発光領域の拡大の程度は異なってくる。つまり、移動度が小さいホールによる電流が支配的なp型領域の方が電流広がりが小さいので、図6（a）および図6（b）に示すように、本実施形態の方が第1の実施形態の場合より、発光領域が小さくなる。このように本実施形態のVCSEL 500では、第1の実施形態のVCSEL 100よりも、より大きな電流および光の閉じ込め効果を得ることができ、さらにしきい値電流を低減することができる。

【0063】次に、図7（a）～（d）を参照しながらVCSEL 500の製造プロセスを説明する。なお、図5で示したものと同一構成要素には同じ参照番号を付しており、ここではその説明を省略する。

【0064】まず、図7（a）に示すように、半導体基板110上に、下部ミラー120、活性領域130および上部ミラー140のための複数の半導体層を、MBE法（分子線エピタキシー法）やMOCVD法（有機金属気相成長法）などによってエピタキシャル成長する。こうして得られたVCSELウェハに、n側電極160の下部層およびp側電極170を形成する。n側電極160の下部層は、上部メサ部分の位置および形状を規定するようにパターニングされる。n側電極160の下部層は、リフトオフ法等を用い電極端がテーパー状になるように形成されている。n側電極160の下部層は、たとえばAu/AuGe/Ni（Auの厚さ100nm：AuGeの厚さ150nm：Niの厚さ5nm）から形成され、p側電極170は、たとえばCr/Au（Crの厚さ50nm：Auの厚さ150nm）から形成される。

【0065】次に、図7（b）に示すように、Cl₂を用いたRIE法を用いて第1回メサエッチングを行う。n側電極160は、このエッチングに対するマスクとして機能する。本実施形態では、このエッチングが上部ミラー140の最下端を越えて活性領域130の内部に達するようにする。

【0066】次に、図7（c）に示すように、上部メサの側壁を覆うようにn側電極160の上部層（追加層）を形成した後、Cl₂を用いたRIE法を用いて第2回メサエッチングを行う。n側電極160の上部層は、たとえばNi（厚さ100nm）から形成される。n側電極

160は第2回エッチングに対するマスクとして機能する。このエッチングは、下部ミラー120の上面に最も近いAlAs層までをエッチングするように制御される。

【0067】最後に、図7(d)に示すように、露出したメサ側壁表面から下部ミラー120の最上のAlAs層のみを酸化し、選択酸化領域510を形成する。

【0068】次に、本実施形態で用いる酸化方法を説明する。

【0069】この酸化は、VCSEL500を H_2O_2 中 10
でボイリングすることによって行う。これにより、第1の実施形態のVCSEL100を製造するプロセスで用いた、図3に示すような大がかりな装置を用いることなく、容易に、簡便な方法で選択酸化を実現できる。

【0070】さらに、本実施形態のVCSEL500の製造プロセスでは、n側電極160の下部層を上部メサ部分のエッチングマスクとして用いている(図7(a)参照)。n側電極160の下部層は端部にテーパ形状を持つため、エッチング中にマスクエッジが少しづつエッチングされ、横方向に後退する。言い換えると、エッチングマスク(n側電極160の下部層)の横方向サイズが縮小しながら、メサエッチングが進行する。その結果、図7(b)に示すように、上部メサ部分の形状も側壁が斜めになったテーパ状になる。テーパ角度はたとえば約80度程度になる。n側電極160の上部層が上部メサ部分の上面と側面だけを覆うようにn側電極160の上部層をパターニングするためには、フォトマスクが必要である。このフォトマスクは、n側電極160の下部層を形成するのに用いたホトマスクと同一のものを 20
用いればよいので、フォトマスクを余分に作成する必要はない。

【0071】以上のように、本実施形態のVCSEL500では、p型下部ミラー120に対して選択酸化を行い、p型下部ミラー120内で電流挟撃を行っている。この結果、n型上部ミラー140に対して選択酸化を行った場合よりも、より強い電流および光の閉じ込めを実現することができ、さらにしきい値電流を低減することができる。

【0072】また、上部メサ部分がテーパ形状を持つようにエッチングされているので、最初の実施形態の場合 40
に比較して、フォトマスクの枚数を1枚減らすことができる。その結果、VCSELをより低コストで製造することができる。

【0073】また、 H_2O_2 中でボイリングすることで選択酸化を行う結果、簡便な方法で、容易に選択酸化を持ったVCSELを実現することができる。

【0074】(第3の実施形態)図8は、本発明の第3の実施形態によるVCSEL800の構成を模式的に示す断面図である。なお、第1の実施形態のVCSEL100と同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、こ 50

こではその説明を省略する。

【0075】レーザメサ820は、上部メサ部分(直径約 $10\mu m$)と下部メサ部分(直径約 $11\mu m$)を含んでいる。上部メサ部分は上部ミラー140の最下の1対を残す深さまで第1回メサエッチングを行うことにより形成され、下部メサ部分は下部ミラー120を1対だけエッチングする第2回メサエッチングより形成されている。

【0076】レーザメサ820の下部メサ部分は上部メサ部分よりも直径が $1\mu m$ 程度大きい。下部メサ部分に含まれている2層のAlAs層は、メサ側壁からメサ中央部に向かって部分的に酸化されており、2層の選択酸化領域810が形成されている。

【0077】本実施形態では、図8に示すように、n型上部ミラー140とp型下部ミラー120の両方のAlAs層を選択的に酸化している。その結果、活性領域130の上下で電流挟撃が行われ、電流経路の広がりが生じない。したがって、完全な電流および光の閉じ込めを実現することができ、第2の実施形態のVCSEL500よりも低しきい値電流が達成される。

【0078】次に、VCSEL800の製造作製プロセスを説明する。

【0079】プロセスの基本的な部分は、第1の実施形態のVCSEL100の製造プロセスのものと同一である。相違点は、2回のメサエッチングのエッチング深さの違いと、酸化方法の違いにある。エッチング深さは、第1回メサエッチングに際しては、上部ミラー140の最下の1対を残すように制御され、2回目のメサエッチングに際しては、下部ミラー120の最上の1対だけをエッチングするように制御される。これらのエッチング深さの制御は、いずれもエッチング時間を調整することにより実行される。なお、本実施形態では、活性層の両側にそれぞれ1層の選択酸化領域810を形成したが、選択酸化領域810の数はこれに限定されない。たとえば、活性領域130の上側に1層の選択酸化領域810を設け、活性領域130の下側に2層の選択酸化領域810を設けてもよい。

【0080】活性領域810を形成するための選択酸化は、 H_2O_2 と $FeCl_3$ (塩化鉄(III))の混合液を用いて行う。混合液は、 $100cc$ の H_2O_2 と $0.025g$ の $FeCl_3$ とを混合することによって作成し、約 $60^\circ C$ に加熱する。この加熱した混合液中にVCSELを浸すことによって、選択酸化を行う。酸化のメサ中心方向への深さは酸化時間を調節することによって制御する。この方法は、酸化を促進する $FeCl_3$ を使用するため、第2の実施形態のVCSEL500に用いた酸化方法よりも短時間で効果的な酸化を行うことが出来る。なお、 $FeCl_3$ の代わりに $FeCl_2$ (塩化鉄(II))を用いて酸化を行ってもよい。この酸化方法を図 1 および図5のVCSELの選択酸化に適用してもよい

し、逆に、第1または第2の実施形態における酸化方法を図8のVCSELの選択酸化に適用してもよい。VCSELの構造は、それを製造するための酸化方法を特に限定しない。

【0081】以上説明したように、本実施形態のVCSEL 800では、n型上部ミラー140とp型下部ミラー120の両方のAlAs層を選択的に酸化し、活性領域130の上下で電流狭窄を行っている結果、完全な電流および光の閉じ込めを行うことができ、低いしきい値電流のVCSELを実現することができる。また、 H_2O_2 による酸化作用を促進する働きのある $FeCl_3$ または $FeCl_2$ を H_2O_2 に加えて酸化を行っているの、より短時間で効果的な選択酸化プロセスを行うことができる。

【0082】（第4の実施形態）図11は、本発明の第4の実施形態によるVCSEL 1100を模式的に示す断面図である。図11のVCSEL 1100は、p型GaAs基板110上に形成されている。VCSEL 1100は、下部誘電体ミラー1120、活性領域130およびn型上部ミラー140を含むレーザ発振のための積層構造を有している。下部誘電体ミラー1120は、基板110の裏面から選択エッチングにより設けられた開口部内に形成されている。活性領域130は、基板110上に形成されており、下部誘電体ミラー1120と上部ミラー140との間に挟まれている。上記積層構造の構成は、下部誘電体ミラー1120を除いて、第1の実施形態と同様の構成を有している。下部誘電体ミラー1120は、5対の SiO_2 層/ TiO_2 層が積層された構造を有している。

【0083】メサ150は、2段のメサ部分を含んでおり、上部のメサ部分よりも下部のメサ部分のほうが大きな外径寸法を有している。より詳細には、本実施形態における上部メサ部分の外径は、約 $8\mu m$ であり、下部メサの外径は約 $9\mu m$ である。このような二段構造を持つメサ150は、第1の実施形態について述べた製造方法により形成される。

【0084】上部メサ部分に含まれるp型AlAs層の周辺部は酸化されていないが、下部メサ部分に含まれるp型AlAs層の周辺部は選択的に酸化されている。その結果、下部メサ部分に含まれる各p型AlAs層は、周辺の選択酸化領域と、選択酸化領域に囲まれたコア状の半導体領域に分かれている。選択酸化領域は電流アパーチャとして機能する。レーザ発振のための駆動電流は、絶縁性の選択酸化領域によって狭窄される結果、コア半導体領域内を縦方向に流れる。

【0085】本実施形態では、一対のミラーのうちの一方だけが、アルミニウムを含む第1層と、第1層とは屈折率の異なる第2層とが積層されたDBR構造を備え、活性領域130に近い2層の第1層（アルミニウムを含む酸化されやすい層）だけが選択的に酸化されている。

このように、本発明では、上下ミラーの一方が他方とは異なる材料層から構成されていてもよい。

【0086】（第5の実施形態）図12は、本発明の第5の実施形態によるVCSELアレイ1200を模式的に示す断面図である。図12のVCSELアレイ1200は、一つの基板上に複数の発光部（垂直共振器）が集積された構造を備えている。第1の実施形態のVCSEL 100と同じ構成要素には同じ参照番号を付しており、ここではその説明を省略する。

【0087】本実施形態では、下部ミラー120が複数の垂直共振器に共有されており、下部ミラー120と各上部ミラー140との間を駆動電流が流れる。その結果、各共振器内でレーザ発振が生じる。各共振器内には、第1実施形態の電流および光閉じこめ構造と同様の構造が設けられているので、低いしきい値電流が達成され、しかも高い光出力が得られる。

【0088】なお、上記すべての実施形態において、p型とn型を入れ替えても、本願発明の効果は損なわれない。また、GaAs系以外のInP系やGaN系などの材料系を用いてもよいことは言うまでもない。

【0089】以上のように、本発明によれば、上述の構成を有することによって、単一構成のミラーでありながら、選択酸化プロセスを用いてもミラーの抵抗が増加せず、低抵抗かつ低いしきい値電流の面発光半導体レーザが提供される。

【0090】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1記載の発明によれば、DBR構造に含まれる一部の層のみが、電流を阻止する選択酸化領域を含むことになるため、DBR構造全体の電気抵抗増加を抑制しながら、電流をコア半導体領域で規定される狭い空間に効率的に狭窄することができる。その結果、活性領域注の発光層のうち狭い領域に電流が注入され、低いしきい値電流でレーザ発振が達成される。

【0091】請求項2記載の発明によれば、DBR構造の電流が通過する範囲内では歪みなく半導体が積層していることとなる。

【0092】請求項3記載の発明によれば、活性領域に近い位置に電流狭窄のための構造が配置されることとなるため、効率的な電流狭窄が達成される。また、コア半導体領域と選択酸化領域との間にある横方向屈折率差に起因して、発光層で生じた光がコア半導体領域に規定される範囲内に閉じこめられる。

【0093】請求項4記載の発明によれば、メサにより電流密度が高められ、より低いしきい値でのレーザ発振が実現する。また、メサの外周部から選択酸化領域を形成することができ、狭いコア半導体領域を簡単に設けることができる。

【0094】請求項5記載の発明によれば、メサの電気抵抗増加を抑制しながら、電流狭窄の実効をあげるこ

ができる。

【0095】請求項6記載の発明によれば、DBR構造のテーパー部分を保護膜で覆うことが容易になる。そのため、製造に際して、DBR構造のテーパー部分中の第1層は酸化することなく、それ以外の部分に含まれる第1層を選択的に酸化することが容易となる。その結果、製造コストが低減される。また、メサ形成用エッチングマスクのパターンを規定するために使用されるフォトマスクを用いて、保護膜のパターンも規定できる。

【0096】請求項7記載の発明によれば、電極がテーパー部分の側壁を覆うことによって、より一層ミラー抵抗が低減される。

【0097】請求項8記載の発明によれば、電極が製造工程において選択酸化工程の際の保護膜として機能し得ることとなる。

【0098】請求項9記載の発明によれば、DBR構造を構成する層の間に歪みなどが生じないようにすることが可能となり、その結晶性が向上する。

【0099】請求項10記載の発明によれば、二つのミラーの双方に電流狭窄のための選択酸化領域が配置されることとなる。そのため、発光層の狭い範囲に電流を効率的に注入することができる。

【0100】請求項11記載の発明によれば、製造コストを低減できる。

【0101】請求項12記載の発明によれば、選択酸化領域を容易に形成できる。AlAsはGaAsに比較して著しく酸化されやすいからである。また、AlAsとGaAsとの間の屈折率差が大きく、少ない層数でミラーの高い反射率を得ることができる。

【0102】請求項13記載の発明によれば、ミラー抵抗を全く増加させることなく、無効電流を低減できる。DBR構造の側面は、製造時に受ける損傷によって無効電流を発生させる非発光再結合中心等の結晶欠陥を多数含んでいるが、それらが表面パッシベート領域に置き代わることで、無効電流の原因が減少するからである。

【0103】請求項14記載の発明によれば、容易にパッシベート領域を形成できることとなる。選択酸化工程によれば、欠陥を含む第1層および第2層の表面を簡単にパッシベートできるからである。

【0104】請求項15記載の発明によれば、面発光レーザのアレイが得られる。アレイを構成する各DBR構造について電流狭窄のための構成が設けられているため、しきい値電流が低減され、その結果、全体の消費電力が低くなる。

【0105】請求項16記載の発明によれば、複数の第1層および複数の第2層を含む多層膜のうち一部だけを保護膜で覆うこととなるため、保護膜で覆われていない部分（下部メサ部分）中に位置する第1層のみを的確に酸化し、選択酸化領域を容易に形成することが可能となる。

【0106】請求項17記載の発明によれば、傾斜した上部メサ部分の側壁上に保護膜の堆積を行うことが簡単になる。

【0107】請求項18記載の発明によれば、保護膜を除去する必要がなくなり、製造工程が簡略化される。

【0108】請求項19記載の発明によれば、選択酸化領域の形成が簡略化され、製造コストも低減される。

【0109】請求項20記載の発明によれば、塩化鉄の作用を利用して酸化速度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態によるVCSELの構成を模式的に示す断面図

【図2】(a)～(d)は、図1に示すVCSELの製造工程を説明するための断面図である。

【図3】VCSELを酸化させるのに用いる装置を模式的に示す断面図である。

【図4】図1に示すVCSELの酸化時間と光出力ー電流特性の関係を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施の形態によるVCSELの構成を模式的に示す断面図である。

【図6】(a)は、図1に示すVCSELにおける電流狭窄および発光領域を模式的に示す図であり、(b)は、図5に示すVCSELにおける電流狭窄および発光領域を模式的に示す図である。

【図7】(a)～(d)は、図5に示すVCSELの製造工程を説明するための断面図である。

【図8】本発明の第3の実施の形態によるVCSELの構成を模式的に示す断面図である。

【図9】VCSELの第1の従来例の構成を模式的に示す断面図である。

【図10】VCSELの第2の従来例の構成を模式的に示す断面図である。

【図11】本発明の第4の実施の形態によるVCSELの構成を模式的に示す断面図である。

【図12】本発明の第5の実施の形態によるVCSELレーザアレイを模式的に示す断面図である。

【符号の説明】

100 面発光半導体レーザ（VCSEL）

110 p型GaAs基板

120 p型下部ミラー

130 活性領域

131 活性層（発光層）

140 n型上部ミラー

141 選択酸化領域

150 メサ

160 n側電極

170 p側電極

500 面発光半導体レーザ

510 酸化領域

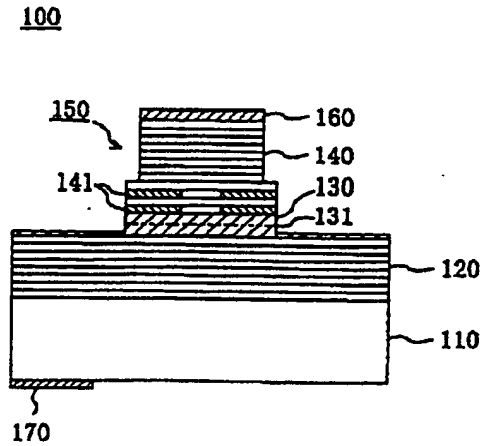
520 レーザメサ

800 面発光半導体レーザ

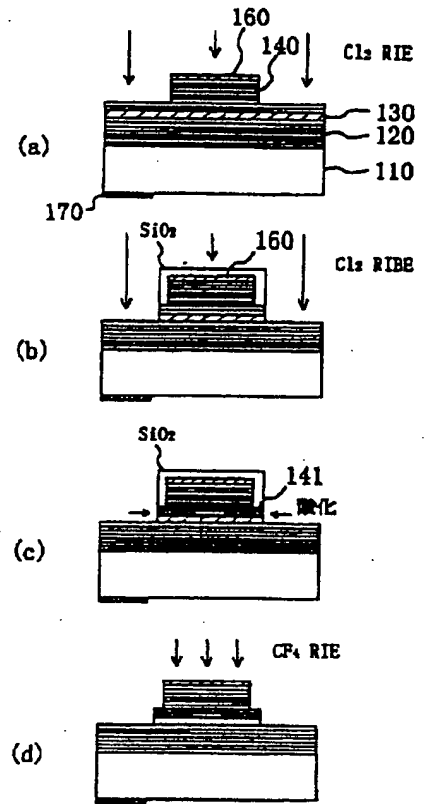
820 レーザメサ

810 酸化領域

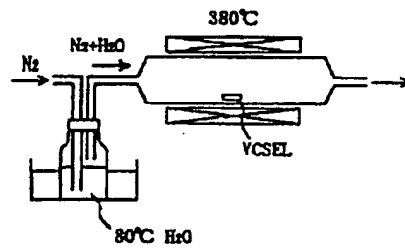
【図 1】



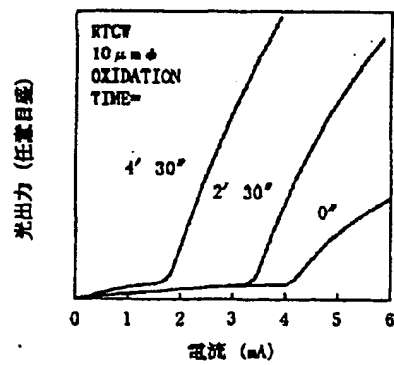
【図 2】



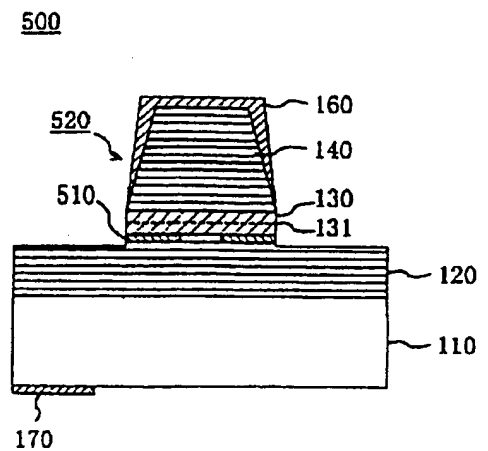
【図 3】



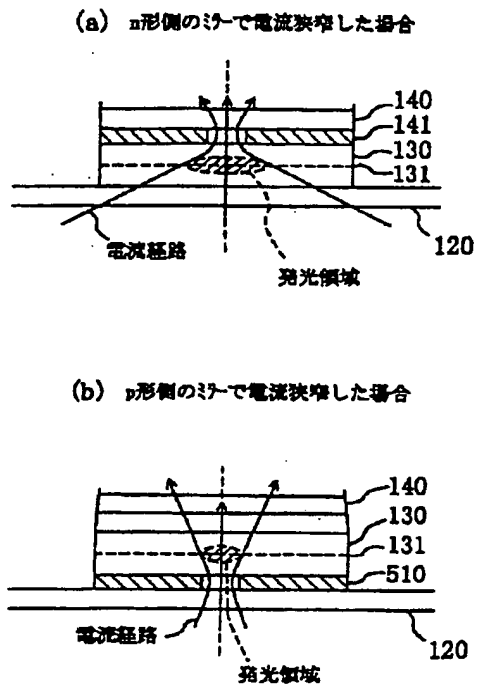
【図 4】



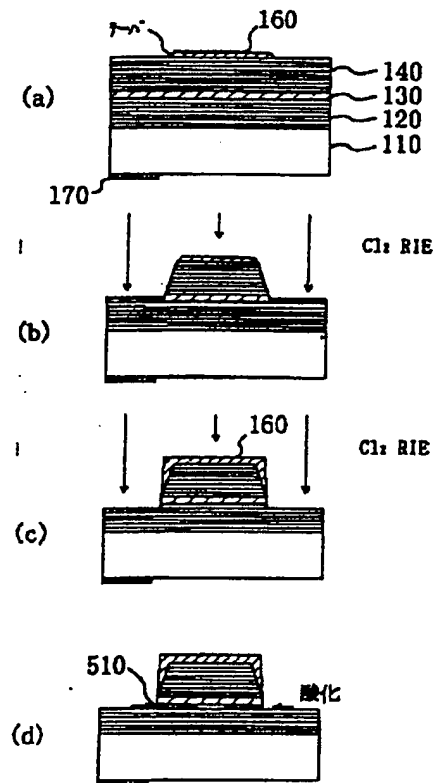
【図 5】



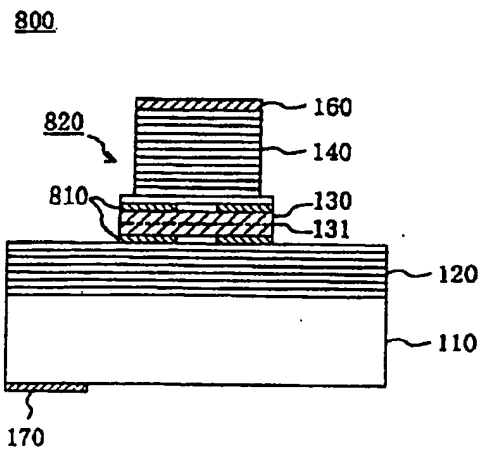
【図 6】



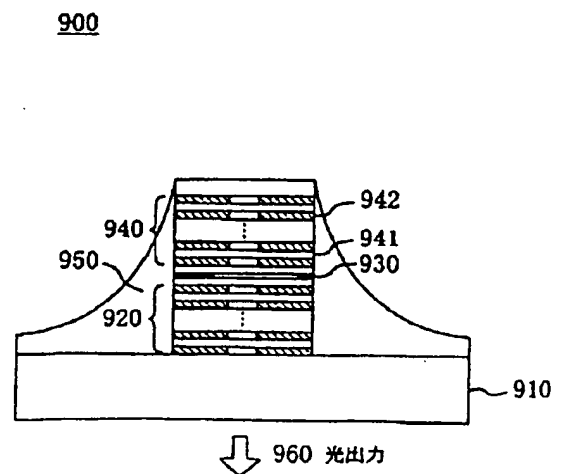
【図 7】



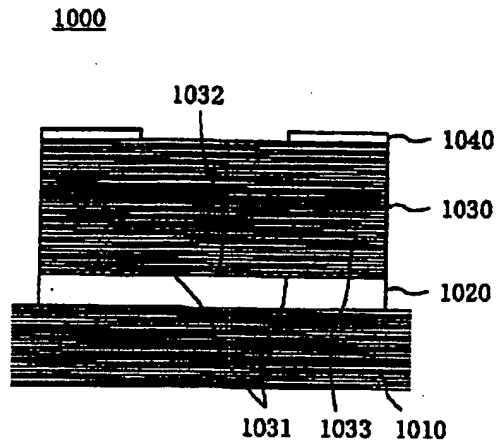
【図 8】



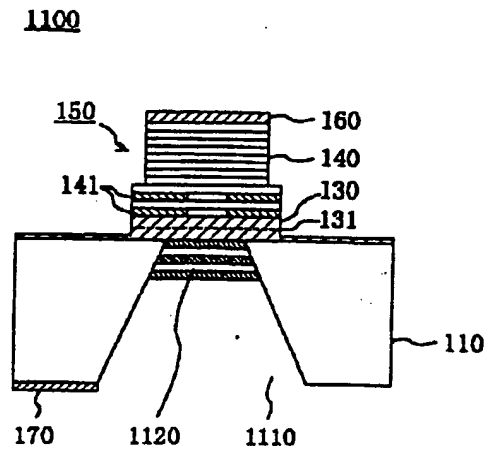
【図 9】



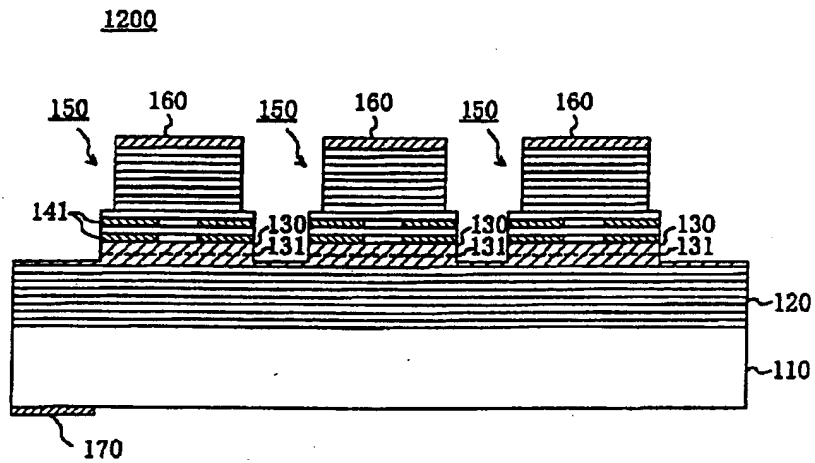
【図 10】



【図 11】



【図 12】



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-125999

(43)Date of publication of application : 15.05.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 09-225959

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO
LTD

(22)Date of filing : 22.08.1997

(72)Inventor : KOBAYASHI YASUHIRO

(30)Priority

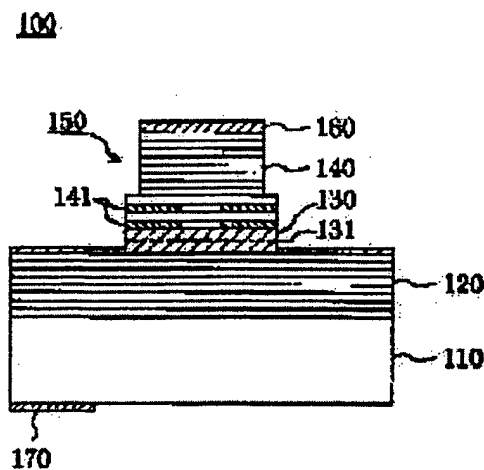
Priority number : 08231564 Priority date : 02.09.1996 Priority country : JP

(54) SURFACE LIGHT EMITTING SEMICONDUCTOR LASER AND MANUFACTURING METHOD THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a surface light emitting semiconductor laser, which is capable of operating on a low threshold current and outputting a laser beam of high power using even a mirror of low resistance.

SOLUTION: An upper mirror 140 of a surface light emitting semiconductor laser 100 has such a structure that 24.5 pairs of P-type AlAs layers (first layer) and N-type GaAs layers (second layer) are laminated with N-type intermediate layers interposing between them to function as a distributed reflector (DBR). The upper mirror 140 is processed into a mesa 150. The mesa 150 is a two-storied mesa, the peripheries of the P-type AlAs layers included in the upper mesa are not oxidized, but the other P-type AlAs layers included in the lower mesa are selectively oxidized. Therefore, the P-type AlAs layers included in the lower mesa are divided into a peripheral selective oxide region 141 and a core-like semiconductor region surrounded with the oxide region 141. A



drive current is constricted by the insulating selective oxide region 141, so that it flows through the core-like semiconductor region in a longitudinal direction.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 22.08.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3188658

[Date of registration] 11.05.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

*** NOTICES ***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the field luminescence semiconductor laser possessing the active region containing a luminous layer, and two mirrors which face across said active region. At least one side of said two mirrors It has the distribution Bragg reflector (DBR) structure containing two or more 1st layer containing aluminum, and two or more 2nd layer. Field luminescence semiconductor laser which has the selective oxidation field where only the layer as which the part was chosen among said two or more 1st layer contained in said DBR structure contains aluminum, and the core semiconductor region surrounded by said selective oxidation field.

[Claim 2] It is the field luminescence semiconductor laser characterized by being field luminescence semiconductor laser according to claim 1, forming said core semiconductor region from the semiconductor containing aluminum, and forming said 2nd layer from the semi-conductor which carries out lattice matching to the semi-conductor containing said aluminum.

[Claim 3] The layer which is field luminescence semiconductor laser according to claim 2, and has said selective oxidation field among said two or more 1st layer is field luminescence semiconductor laser characterized by being arranged in the location near [layer / which does not have said selective oxidation field among said two or more 1st layer in the DBR structure containing this layer] said active region.

[Claim 4] It is the field luminescence semiconductor laser characterized by being field luminescence semiconductor laser according to claim 3, and said DBR structure including the mesa at least in the part.

[Claim 5] It is the field luminescence semiconductor laser which contains two mesa parts from which said mesa of said DBR structure differs in an outer-diameter dimension as field luminescence semiconductor laser **** according to claim 4, and is characterized by forming said selective oxidation field in the mesa part of the side near said barrier layer among said two mesa parts.

[Claim 6] It is the field luminescence semiconductor laser which it is field luminescence semiconductor laser according to claim 4, and said mesa of said DBR structure contains the taper part at least in the part, and is characterized by said taper part having the inclined side attachment wall.

[Claim 7] It is the field luminescence semiconductor laser characterized by being field luminescence semiconductor laser according to claim 6, and covering said some of inclined side attachment walls [at least] of said mesa with the electrode.

[Claim 8] That by which it is field luminescence semiconductor laser according to claim 7, and the end face is covered with said electrode among said two or more 1st layer is field luminescence semiconductor laser characterized by not having said selective oxidation field substantially.

[Claim 9] Field luminescence semiconductor laser which is field luminescence semiconductor laser according to claim 1, and is characterized by the interlayer intervening between said 1st layer of said DBR structure, and said 2nd layer.

[Claim 10] Field luminescence semiconductor laser which is field luminescence semiconductor laser according to claim 1, and is characterized by the thing of said two mirrors for which it has said DBR structure and said any DBR structure has said selective oxidation field and said core semiconductor

region, respectively.

[Claim 11] It is the field luminescence semiconductor laser characterized by being field luminescence semiconductor laser according to claim 1, and forming one side of said two mirrors from the dielectric multilayer.

[Claim 12] It is the field luminescence semiconductor laser characterized by being field luminescence semiconductor laser according to claim 2, forming said core semiconductor region from AlAs, and forming said 2nd layer from GaAs.

[Claim 13] It is the field luminescence semiconductor laser possessing the active region containing a luminous layer, and two mirrors which face across said active region. At least one side of said two mirrors Only the layer as which the part was chosen among said two or more 1st layer which has the distribution Bragg reflector (DBR) structure containing two or more 1st layer containing aluminum and two or more 2nd layer, and is contained in said DBR structure A surface PASSHI bait field, Field luminescence semiconductor laser which has the core semiconductor region surrounded by said surface PASSHI bait field.

[Claim 14] It is the field luminescence semiconductor laser characterized by being field luminescence semiconductor laser according to claim 13, and forming said surface PASSHI bait field of the selective oxidation process.

[Claim 15] The 1st single mirror which is the field luminescence semiconductor laser by which two or more vertical resonators were arranged by one substrate, and is shared by said two or more vertical resonators, It has two or more active regions boiled and inserted into two or more 2nd mirrors which were alike, respectively and corresponded and said two or more 2nd mirrors of two or more of said vertical resonators, and said 1st mirror. Either [at least] said 1st mirror or the 2nd mirror It has the distribution Bragg reflector (DBR) structure containing two or more 1st layer containing aluminum, and two or more 2nd layer. Field luminescence semiconductor laser which has the selective oxidation field where only the layer as which the part was chosen among said two or more 1st layer contained in said DBR structure contains aluminum, and the core semiconductor region surrounded by said selective oxidation field.

[Claim 16] The process which forms the multilayer containing two or more 1st layer which is the manufacture approach of the field luminescence semiconductor laser equipped with the active region containing a luminous layer, and two mirrors which face across said active region, and contains aluminum, and two or more 2nd layer, The process at which said multilayer is selectively etched into by the 1st mesa etching, an up mesa part is formed in from said multilayer by it, and the side attachment wall of said up mesa part is exposed, The process at which said multilayer is etched into for said side attachment wall of said up mesa part still more deeply by the wrap process and the 2nd mesa etching by the protective coat, a lower mesa part is formed in by it, and the side attachment wall of said lower mesa part is exposed, The manufacture approach of the field luminescence semiconductor laser which includes said process which is included in said lower mesa part, and which oxidizes the 1st layer selectively from said side attachment wall of said lower mesa part.

[Claim 17] It is the manufacture approach of the field luminescence semiconductor laser which is the manufacture approach according to claim 16, and is characterized by performing said 1st mesa etching so that said side attachment wall of said up mesa part may be made to incline.

[Claim 18] It is the manufacture approach of the field luminescence semiconductor laser which is the manufacture approach according to claim 17, and is characterized by forming said protective coat from a conductive ingredient, and constituting some electrodes.

[Claim 19] The manufacture approach of the field luminescence semiconductor laser which is the manufacture approach according to claim 16, and is characterized by said oxidation process carrying out using H₂O₂.

[Claim 20] It is the manufacture approach of the field luminescence semiconductor laser which is the manufacture approach according to claim 16, and is characterized by performing said oxidation process using H₂O₂ which added ferric chloride.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the field luminescence semiconductor laser (Vertical-Cavity Surface-Emitting laser: VCSEL) and its manufacture approach of the vertical resonator mold manufactured especially using a selective oxidation process about field luminescence semiconductor laser and its manufacture approach.

[0002]

[Description of the Prior Art] It not only can obtain the light beam to which the cross section carried out the round shape, but according to the field luminescence semiconductor laser ("VCSEL" may be called simply hereafter) of a vertical resonator mold, it can integrate parts for two or more light-emitting part to high density on a single substrate two-dimensional. Moreover, a surface emission-type laser can operate with low power consumption, and can be manufactured by low cost. For such a description, VCSEL attracts attention as the light source for next-generation optical communication and optical information processing, and research and development various until now are performed.

[0003] Research which raises the engine performance of VCSEL is briskly done by oxidizing selectively the semi-conductor layer (for example, AlGaAs layer) which constitutes the mirror of the GaAs system VCSEL recently. An example of VCSEL using this selective oxidation process is indicated by the 562nd page (Electronics Letters, 31 (1995), P.560-562) from electronics Letters, the 31st volume (1995), and the 560th page.

[0004] Drawing 9 is the sectional view showing typically the structure of VCSEL currently indicated by the above-mentioned reference. VCSEL900 of drawing 9 is equipped with the vertical resonator arranged on the n mold GaAs substrate 910, and this resonator is equipped with n-DBR920, the InGaAs/GaAs deformation amount child well 930, and p-DBR (Distributed Bragg Reflector)940 in this sequence from the substrate side. Both the p mold DBR and the n mold DBR have the multilayer structure which the GaAs layer 941 and the AlAs/AlxOy layer 942 deposited by turns, and this multilayer structure is etched in the shape of a mesa until it results in a substrate 910. The AlAs/AlxOy layer 942 is formed from the AlAs field located in a mesa center section, and the AlxOy field which encloses it. An AlxOy field is obtained by oxidizing an AlAs layer selectively in a longitudinal direction from a mesa side attachment wall after a mesa etching process. The whole mesa is protected with polyimide 950. The output light 960 is taken out from the rear face of a substrate 910.

[0005] Next, actuation of VCSEL900 is explained.

[0006] Since an AlxOy field (part by which hatching is carried out with the slash in drawing 9) is an insulator, a current flows the AlAs field where a mesa center section (white part) is narrow. For this reason, a current locked-in effect is heightened. In the AlAs/AlxOy layer 942, since the refractive index of an AlAs field differs from the refractive index of an AlxOy field, refractive-index waveguide structure is formed and it realizes eye longitudinal direction ***** of light. Sharp reduction of a threshold current is expected by the locked-in effect of these currents and light.

[0007] The thin damage layer by mesa etching is formed in the mesa side attachment wall, and a

nonluminescent recombination center exists in this damage layer. For this reason, the current which flows near the mesa side attachment wall turns into the reactive current which does not contribute to luminescence. Since this structure where a current flows only in the mesa center section can make most reactive currents zero, the further reduction of a threshold current is expectable. VCSEL900 has realized the world's smallest value threshold current 70microA (microampere).

[0008] Other conventional examples are indicated by the 3415th page (Applied Physics Letter, 66 (1995), P.3413-3415) from an applied physics letter, the 66th volume (1995), and the 3413rd page.

Drawing 10 is the sectional view showing typically the structure of VCSEL1000 currently indicated by the above-mentioned reference.

[0009] VCSEL1000 is equipped with the structure where the laminating of a barrier layer 1020 and p-DBR1030 was carried out, on n-DBR1010. The mesa is formed by etching this laminated structure to n-DBR1010. Moreover, the ring-like p lateral electrode 1040 is formed on p-DBR1030. p-DBR has the multilayer structure which carried out the laminating of AlGaAs and the GaAs by turns. Only the one-layer AlGaAs layer located in the lowest layer of multilayer structure is formed from the aluminum0.98Ga0.02As layer 1032 of aluminum presentation =0.98, and other layers are formed from the aluminum0.9Ga0.1As layer and GaAs layer of aluminum presentation =0.9. Consequently, DBR1033 of aluminum0.9Ga0.1 As/GaAs structure functions as an up mirror.

[0010] In this conventional example, using the oxidation rate difference (about 15:1) of aluminum0.98Ga0.02As and aluminum0.9Ga0.1As, only the aluminum0.98Ga0.02As layer 1032 is oxidized selectively, and the AlxOy field 1031 is formed.

[0011] The principle of operation of VCSEL1000 is fundamentally the same as the case of VCSEL900 of drawing 9, and VCSEL of a low threshold current is realized.

[0012]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] According to the 1st conventional technique, only the optical output of several microwatt order is obtained. Moreover, with the 2nd conventional technique, in order to oxidize only one layer, the hybrid mirror configuration using two kinds of AlGaAs layers from which aluminum presentation differs is adopted. aluminum presentation of the AlGaAs layer in which others do not oxidize is made small at one layer by which selective oxidation is carried out more to a detail using the AlGaAs layer (aluminum presentation is large) which is easy to oxidize. According to such a configuration, the AlGaAs layer (aluminum presentation is small) which shows the refractive index near the refractive index of a GaAs layer must be used for most mirrors. When the refractive-index difference between the GaAs layers and AlGaAs layers which constitute a mirror is small, in order to attain sufficient reflection factor, the number of layers of a mirror must be made [more] than the case where the AlGaAs layer of big aluminum presentation is used. It not only raises a manufacturing cost, but this causes the problem of making mirror resistance increase.

[0013] While this invention is made in view of these many points and the low mirror of resistance is used for the main object, actuation with a low threshold current is enabled, and it is in offering the field luminescence semiconductor laser which moreover attains a high optical output, and its manufacture approach.

[0014]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned object, the selective oxidation field for a current constriction is selectively arranged by oxidizing only some layers chosen as two or more 2nd layer which constitutes the mirror from this invention, using the layer which contains aluminum in two or more 1st layer which constitutes a mirror among two or more 1st layer using the layer from which a refractive index and an oxidation rate differ in the 1st layer.

[0015] Specifically the 1st field luminescence semiconductor laser of this invention It is the field luminescence semiconductor laser possessing the active region containing a luminous layer, and two mirrors which face across said active region. At least one side of said two mirrors It has the distribution Bragg reflector (DBR) structure containing two or more 1st layer containing aluminum, and two or more 2nd layer. Only the layer as which the part was chosen among said two or more 1st layer contained in said DBR structure has the selective oxidation field containing aluminum, and the core semiconductor

region surrounded by said selective oxidation field.

[0016] A constriction can be efficiently carried out to the narrow space to which a current is specified in a core semiconductor region, controlling the increment in electric resistance of the whole DBR structure, since only some layers contained in DBR structure will include by this the selective oxidation field which prevents a current. Consequently, a current is poured into a narrow field among the luminous layers of active-region notes, and laser oscillation is attained with a low threshold current. DBR structure functions as a reflector from the difference in the refractive index of those layers including two or more 1st layer and two or more 2nd layer.

[0017] With a certain operation gestalt, said core semiconductor region is formed from the semiconductor containing aluminum, and said 2nd layer can be considered as the configuration formed from the semi-conductor which carries out lattice matching to the semi-conductor containing said aluminum. By this, within limits which the current of DBR structure passes, it will be distorted and the semi-conductor will carry out the laminating that there is nothing.

[0018] As for the layer which has said selective oxidation field among said two or more 1st layer, it is more desirable than the layer which does not have said selective oxidation field among said two or more 1st layer in the DBR structure containing this layer to be arranged in the location near said active region. Since the structure for a current constriction will be arranged by this in the location near an active region, an efficient current constriction is attained. Moreover, it originates in the longitudinal direction refractive-index difference between a core semiconductor region and a selective oxidation field, and the light produced in the luminous layer is shut up within limits specified to a core semiconductor region.

[0019] Said DBR structure can be considered as the configuration which includes the mesa at least in the part. Thereby, current density is raised by the mesa and laser oscillation in a lower threshold is realized. Moreover, a selective oxidation field can be formed from the periphery section of a mesa, and a narrow core semiconductor region can be prepared easily.

[0020] Said mesa of said DBR structure contains two mesa parts from which an outer-diameter dimension differs, and said selective oxidation field can be considered as the configuration currently formed in the mesa part of the side near said barrier layer among said two mesa parts. Thereby, the efficiency of a current constriction can be raised, controlling the increment in electric resistance of a mesa.

[0021] Said mesa of said DBR structure contains the taper part at least in the part, and said taper part can be considered as the configuration which has the inclined side attachment wall. Thereby, it becomes easy to cover the taper part of DBR structure by the protective coat. Therefore, the thing which is included in the other part and which oxidize the 1st layer selectively becomes easy, without the 1st layer of the taper part of DBR structure oxidizing on the occasion of manufacture. Consequently, a manufacturing cost is reduced.

[0022] Said some of inclined side attachment walls [at least] of said mesa can be considered as the configuration covered with the electrode. Thereby, the contact resistance of an electrode and a mesa decreases and vertical resistance of a mirror part is reduced further.

[0023] That by which the end face is covered with said electrode among said two or more 1st layer can be considered as the configuration which does not have said selective oxidation field substantially. By this, an electrode may function as a protective coat in the case of a selective oxidation process into a production process.

[0024] Between said 1st layer of said DBR structure, and said 2nd layer, it can consider as the configuration between which the interlayer intervenes. distorted between the layers which constitute DBR structure by this -- it becomes possible for everybody to take care not to be generated, and the crystallinity improves.

[0025] Each of said two mirrors can consider as the configuration in which it has said DBR structure and said any DBR structure has said selective oxidation field and said core semiconductor region. By this, the selective oxidation field for a current constriction will be arranged to the both sides of two mirrors. Therefore, a current can be efficiently poured into the narrow range of a luminous layer.

[0026] One side of said two mirrors can be considered as the configuration currently formed from the

dielectric multilayer.

[0027] Said core semiconductor region is formed from AlAs, and said 2nd layer can be considered as the configuration currently formed from GaAs. Thereby, a selective oxidation field can be formed easily. It is because AlAs tends to oxidize remarkably as compared with GaAs. Moreover, the refractive-index difference between AlAs and GaAs is large, and can obtain a reflection factor with a high mirror with a small number of layers.

[0028] The active region where other field luminescence semiconductor laser by this invention contains a luminous layer, It is the field luminescence semiconductor laser possessing two mirrors which face across said active region. At least one side of said two mirrors Only the layer as which the part was chosen among said two or more 1st layer which has the distribution Bragg reflector (DBR) structure containing two or more 1st layer containing aluminum and two or more 2nd layer, and is contained in said DBR structure A surface PASSHI bait field, It has the core semiconductor region surrounded by said surface PASSHI bait field. Thereby, the reactive current can be reduced, without making mirror resistance completely increase. It is that they put on a surface PASSHI bait field, and replace although the side face of DBR structure includes many crystal defects of the nonluminescent recombination center which generates the reactive current by breakage received at the time of manufacture, and is because the cause of the reactive current decreases.

[0029] Said surface PASSHI bait field can be considered as the configuration currently formed of the selective oxidation process. By this, a PASSHI bait field can be formed easily. It is because the PASSHI bait of the 1st and the front face of the 2nd layer including a defect can be carried out simply according to the selective oxidation process.

[0030] The 1st single mirror which the field luminescence semiconductor laser of further others of this invention is field luminescence semiconductor laser by which two or more vertical resonators were arranged by one substrate, and is shared by said two or more vertical resonators, It has two or more active regions boiled and inserted into two or more 2nd mirrors which were alike, respectively and corresponded and said two or more 2nd mirrors of two or more of said vertical resonators, and said 1st mirror. Either [at least] said 1st mirror or the 2nd mirror It has the distribution Bragg reflector (DBR) structure containing two or more 1st layer containing aluminum, and two or more 2nd layer. Only the layer as which the part was chosen among said two or more 1st layer contained in said DBR structure has the selective oxidation field containing aluminum, and the core semiconductor region surrounded by said selective oxidation field. Thereby, the array of a surface emission-type laser is obtained. Since the configuration for a current constriction is prepared about each DBR structure which constitutes an array, a threshold current is reduced, consequently the whole power consumption becomes low.

[0031] The active region where the manufacture approach of the field luminescence semiconductor laser of this invention contains a luminous layer, The process which forms the multilayer containing two or more 1st layer which is the manufacture approach of the field luminescence semiconductor laser equipped with two mirrors which face across said active region, and contains aluminum, and two or more 2nd layer, The process at which said multilayer is selectively etched into by the 1st mesa etching, an up mesa part is formed in from said multilayer by it, and the side attachment wall of said up mesa part is exposed, The process at which said multilayer is etched into for said side attachment wall of said up mesa part still more deeply by the wrap process and the 2nd mesa etching by the protective coat, a lower mesa part is formed in by it, and the side attachment wall of said lower mesa part is exposed, From said side attachment wall of said lower mesa part, said process which is included in said lower mesa part and which oxidizes the 1st layer selectively is included. In order for this to cover only a part by the protective coat among the multilayers containing two or more 1st layer and two or more 2nd layer, only the 1st layer is oxidized exactly and the thing which are located in the part (lower mesa part) which is not covered by the protective coat and for which a selective oxidation field is formed easily becomes possible.

[0032] Said 1st mesa etching can be considered as the configuration performed so that said side attachment wall of said up mesa part may be made to incline. It becomes easy for this to deposit a protective coat on the side attachment wall of the inclined up mesa part.

[0033] Said protective coat is formed from a conductive ingredient, and you may make it said protective coat constitute some electrodes. The need of removing a protective coat is lost by this, and a production process is simplified.

[0034] Said oxidation process may be made to be performed using H₂O₂. Thereby, formation of a selective oxidation field is simplified and a manufacturing cost is also reduced.

[0035] Said oxidation process may be made to be performed using H₂O₂ which added ferric chloride. Thereby, an oxidation rate can be raised using an operation of ferric chloride.

[0036]

[Embodiment of the Invention] Below, the operation gestalt of this invention is explained, referring to an accompanying drawing.

[0037] (1st operation gestalt) Drawing 1 is the sectional view showing typically the field luminescence semiconductor laser (VCSEL) 100 by the 1st operation gestalt of this invention. VCSEL100 of drawing 1 is formed on the p mold GaAs substrate 110. VCSEL100 has the laminated structure for the laser oscillation containing p mold lower mirror 120, an active region 130, and n draw spike section mirror 140. The lower mirror 120 is formed on the substrate 110, and it faces across the active region 130 between the lower mirror 120 and the up mirror 140. Below, the configuration of the above-mentioned laminated structure is explained in detail.

[0038] Pinching 24.5 pairs of p mold AlAs layers (it corresponding to the 1st layer), and a p mold GaAs layer (it corresponding to the 2nd layer) for p mold interlayer in between, the lower mirror 120 has the structure which carried out the laminating, and functions as a lower distribution reflector (Distributed Bragg Reflector:DBR). Similarly, pinching 24.5 pairs of n mold AlAs layers (it corresponding to the 1st layer), and an n mold GaAs layer (it corresponding to the 2nd layer) for n mold interlayer in between, the up mirror 140 has the structure which carried out the laminating, and functions as an upper distribution reflector (DBR).

[0039] It has not the hybrid configuration whose conventional technique of drawing 10 has adopted any mirror but the single configuration. In addition, on this application descriptions, the **** a "single configuration" is used in the sense of different structure from a "hybrid configuration" which is used for the conventional technique of drawing 10.

[0040] The active region 130 has the barrier layer (luminous layer) 131 with the deformation amount child well containing the GaAs layer which functions as the In_{0.2}Ga_{0.8}As layer which functions as a well layer, and a barrier layer, and the aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As cladding layer which puts this barrier layer 131. The active region 130 is designed so that the light whose wavelength is about 980nm may be oscillated.

[0041] VCSEL100 has the mesa 150. This mesa 150 contains two steps of mesa parts, and the way of the mesa part below a upside mesa part has the big outer-diameter dimension. The outer diameter of an up mesa part [in / in a detail / this operation gestalt] is about 10 micrometers more, and the outer diameter of a lower mesa part is about 11 micrometers. The mesa 150 with such two-step structure is formed of the mesa etching process of two steps so that it may mention later. The up mesa part contains most up mirrors 140. On the other hand, the lower mesa part contains a part of up mirror 140 (pars basilaris ossis occipitalis), the up cladding layer, the barrier layer 131, and a part of lower cladding layer. Since the 2nd mesa etching stops before exposing the top face of the lower mirror 120 thoroughly, the top face of the lower mirror 120 is covered with the lower cladding layer so that drawing 1 may show.

[0042] Although the periphery of the p mold AlAs layer contained in an up mesa part has not oxidized, the periphery of the p mold AlAs layer contained in a lower mesa part has oxidized selectively. Consequently, the p mold each AlAs layer contained in a lower mesa part is divided into the surrounding selective oxidation field 141 and the semiconductor region of the shape of a core surrounded by the selective oxidation field 141. The selective oxidation field 141 functions as current aperture. The actuation current for laser oscillation flows the inside of a core semiconductor region to a lengthwise direction, as a result of a constriction's being carried out by the insulating selective oxidation field 141. The size (diameter) of a core semiconductor region is reduced according to progress of

longitudinal direction oxidation. It mentions later for details about this point.

[0043] According to this operation gestalt, etching for forming a mesa 150 stops, when etching selectively a barrier layer 131 and the lower part cladding layer located between the lower mirrors 120. Consequently, although the up cladding layer and the barrier layer 131 are contained in the lower mesa part, the lower mirror 120 does not receive mesa etching at all, and they do not have the shape of mesa. For this reason, the AlAs layer in the lower mirror 120 does not oxidize according to a selective oxidation process, but the selective oxidation field 141 for carrying out the constriction of the light to a current is formed only in the barrier layer 131 upside.

[0044] VCSEL110 has further the n lateral electrode 160 formed in the top face of the up mirror 140, and the p lateral electrode 170 formed in the rear face of p mold substrate 110, and a current is supplied to an active region 130 with these electrodes 160 and 170. The laser beam produced within the vertical resonator is taken out from the rear face of a substrate 110.

[0045] Next, the manufacture process of VCSEL100 is explained, referring to drawing 2 (a) - (d). In addition, in drawing 2 (a) - (d), the same reference mark as the same component as what was shown by drawing 1 is attached, and the explanation is omitted.

[0046] first, it is shown in drawing 2 (a) -- as -- the semi-conductor substrate 110 top -- two or more semi-conductor layers for the lower mirror 120, an active region 130, and the up mirror 140 -- MBE -- law (molecular beam epitaxy method) and MOCVD -- it grows epitaxially by law (metal-organic chemical vapor deposition) etc. In this way, the n lateral electrode 160 and the p lateral electrode 170 are formed in the obtained VCSEL wafer. Patterning of the n lateral electrode 160 is carried out using the photo mask for specifying the location and configuration of an up mesa part. The n lateral electrode 160 is formed from Au/AuGe/nickel (5nm in thickness of thickness 150 nm:nickel of thickness 100 nm:AuGe of Au), and the p lateral electrode 170 is formed from Cr/Au (150nm in thickness of thickness 50 nm:Au of Cr).

[0047] Next, the 1st mesa etching is performed using the RIE method using Cl₂. The etching conditions are as follows. Cl₂: Ar:CF₄= 1:10:3, power:500W, etching time:50 minutes.

[0048] The n lateral electrode 160 functions as a mask to this etching. This etching is controlled to stop on the level in the middle of the up mirror 140 to be shown in drawing 2 (a). Consequently, it leaves the 1st mesa etching without etching the two-layer n mold AlAs layer most located near the barrier layer 131 among the up mirrors 140.

[0049] Next, the top face and side attachment wall of an up mesa part which were formed by the 1st mesa etching are covered by SiO₂ protective coat, as shown in drawing 2 (b). This SiO₂ protective coat is obtained by removing selectively the part in contact with the field (field parallel to a substrate front face) of ** in an up mirror exposed by the 1st mesa etching among SiO₂ film, after depositing SiO₂ film with a thickness of 500nm for example, using a plasma-CVD method so that the whole surface of a substrate may be covered. In order to perform such alternative clearance, the photo mask for specifying the location and configuration of SiO₂ protective coat is needed. This photo mask differs from the photo mask used for patterning of the n lateral electrode 160 in pattern size. In addition, when depositing SiO₂ protective coat with physical vapor deposition, such as the sputtering method, a taper is formed in an up mesa part and it is needed to make the side attachment wall of an up mesa part incline. A SiN protective coat may be used instead of SiO₂ protective coat.

[0050] next, RIBE using Cl₂ -- the 2nd mesa etching is performed using law. The etching conditions are as follows. Cl₂: H₂=1:1, power:200W, acceleration voltage: 500 volts, etching time:50 minutes. SiO₂ protective coat functions as a mask to this etching. This etching is controlled to go on to directly under [of an active region 130].

[0051] Then, as shown in drawing 2 (c), an oxidation kind is supplied to the interior of a lower mesa part in a longitudinal direction from the side attachment wall of a lower mesa part exposed by the 2nd mesa etching. In this way, only the periphery of the AlAs layer contained in a lower mesa part is oxidized selectively, and the selective oxidation field 141 is formed. AlAs containing aluminum has a remarkably large oxidation rate as compared with GaAs which does not contain aluminum, consequently selective oxidation is produced to AlAs. Since an oxidation kind cannot diffuse SiO₂ protective coat

promptly, the up mesa part in which the side face is covered with SiO₂ protective coat does not oxidize. Thus, SiO₂ protective coat functions also as the antioxidizing film or an oxidation mask.

[0052] Finally, as shown in drawing 2 (d), SiO₂ protective coat is removed by the RIE method using CF₄, and the structure shown in drawing 1 is acquired.

[0053] As mentioned above, it functions as SiO₂ protective coat of drawing 2 (c) preventing the selective oxidation of the AlAs layer contained in an up mesa part in the above-mentioned selective oxidation process. If this SiO₂ protective coat is fully thick, since SiO₂ protective coat will function as powerful antioxidizing film, a selective oxidation field is not formed in an up mesa part. However, if the thickness of SiO₂ protective coat is thin in comparison, a selective oxidation field may be slightly formed also in an up mesa part. If the effect of the current constriction produced by it is small even if it resembles an up mesa part comparatively even if and a small selective oxidation field is formed, the increment in mirror resistance will be eased fairly. Therefore, even when SiO₂ protective coat does not prevent the selective oxidation of an up mesa part thoroughly, as for a certain extent, improvement in an optical output can be expected. In the case of this operation gestalt, the range of thickness with SiO₂ desirable protective coat is about 300nm to about 500nm.

[0054] Drawing 3 is the outline block diagram of the oxidation system used for the above-mentioned selective oxidation. As shown in drawing 3, bubbling of N₂ is carried out by H₂O [about 80-degree C], and N₂ which contained H₂O by it is introduced into the furnace heated at about 380 degrees C. Other inert gas, such as Ar, may be used instead of N₂. VCSEL is put in into this furnace and a part of front face of VCSEL is oxidized. The size (size of the longitudinal direction measured in the direction of a mesa core from the mesa side-attachment-wall front face) of a selective oxidation field is adjusted by controlling oxidation time amount.

[0055] Drawing 4 is a graph which shows the relation between oxidation time amount and the optical output-current characteristic of VCSEL. The mesa used for measurement has the shape of a cylindrical shape, and the diameter is 10 microns. The curve of drawing 4 R> 4 shows the property in case oxidation time amount is 0 second (it does not oxidize), 2 minutes and 30 seconds, and 4 minutes and 30 seconds. When oxidation time amount is 0 second, a threshold current is about 4mA. When oxidation time amount is 2 minutes and 30 seconds to it, in the case of about 3.2mA, and 4 minutes and 30 seconds, a threshold current is about 1.7mA. A threshold current decreases, so that the graph of drawing 4 may show and oxidation time amount increases. It is because a selective oxidation field becomes large in a longitudinal direction, consequently extent of a current constriction becomes strong as oxidation time amount of this increases. When oxidation time amount is 4 minutes and 30 seconds, the selective oxidation field whose lateral size (width of face) is about 1-2 micrometers is formed, and the diameter of a core semiconductor region is decreasing from about 11 micrometers to about 7-9 micrometers. Thus, a current and light close existence of the selective oxidation field 141 in the circumference of a mesa, and it attains eye **, reduces the reactive current, consequently reduces a threshold current. With this operation gestalt, since only the two-layer AlAs layer has oxidized among up mirror parts, resistance of a mirror hardly increases. Therefore, without producing most problems by generation of heat at the time of device actuation, the maximum optical output is not restricted by generation of heat so that drawing 4 may see.

[0056] On the other hand, when oxidation time amount is 2 minutes and 30 seconds, most selective oxidation fields are not formed. In this case, the longitudinal direction size of the selective oxidation field formed is considered to be 0.1 micrometers or less. Therefore, the locked-in effect of the current by existence of a selective oxidation field and light is hardly expectable. Nevertheless, the PASSHI bait of the damage layer of a mesa surface is carried out by the selective oxidation process, and it is considered to be because for the reactive current to have decreased by it that the threshold current is fully decreasing.

[0057] As mentioned above, the laser mesa 150 is formed by two steps of etching VCSEL100 of this operation gestalt. And by protecting an up mesa part by SiO₂ protective coat, only the AlAs layer of the up mirror 140 contained in a lower mesa part is oxidized selectively, and the two-layer selective oxidation field 141 is formed by it. Consequently, a threshold current can be reduced, without increasing

resistance of the up mirror 140, even if it uses a selective oxidation process.

[0058] As for the number of layers of the selective oxidation field 141, from a viewpoint of keeping mirror resistance small, it is most desirable that it is 1. The selective oxidation field 141 of effectiveness is [at least one layer] enough in the slight closing depth of the longitudinal direction of a current. However, as for the viewpoint of making effectiveness high in the slight closing depth of the longitudinal direction of light to the selective oxidation field 141, it is desirable to be arranged as mostly within limits by which light spreads and comes out from a barrier layer 131 in the vertical direction as possible. If these things are taken into consideration, it will be thought that the number of layers of the selective oxidation field 141 is in the range from 1 to 5 preferably, and is in the range to 1-3 more preferably.

[0059] In addition, apart from the operation gestalt of drawing 1, the operation gestalt to which it oxidizes thinly and a selective oxidation field does not contribute substantially only the maximum surface (for example, field with a depth [a front face to] of 0.1 micrometers or less) of the side attachment wall of a mesa 150 to the longitudinal direction constriction of a current may be adopted. As mentioned above, it is from the ability of the PASSHI bait of the damage layer which only exposes a mesa front face to an oxidizing atmosphere, and was formed in the side-attachment-wall front face of a mesa 150 to be carried out (formation of a PASSHI bait field). A threshold current can be reduced without making mirror resistance completely increase, since the reactive current by the nonluminescent recombination center can be reduced by this.

[0060] (2nd operation gestalt) Drawing 5 is the sectional view showing typically the configuration of VCSEL500 by the 2nd operation gestalt of this invention. In addition, the same reference number is given to the same component as VCSEL100 of the 1st operation gestalt, and the explanation is omitted here.

[0061] The upper part of the laser mesa 520 has the taper configuration (from the summit of the up mirror 140 to the middle of an active region 130). The n lateral electrode 160 is formed so that the top face of this taper part and the sloping side face may be covered. Moreover, the laser mesa 520 is formed by etching the lower mirror 120 by Fukashi who etches only one pair. The selective oxidation field 510 of one layer has extended in the longitudinal direction toward the interior of a mesa from the part which is not covered with the n lateral electrode 160 among the side attachment walls of a mesa 520.

[0062] With this operation gestalt, as shown in drawing 5, only the best AlAs layer of p mold lower mirror 120 was oxidized selectively, and it has realized a lateral current constriction. On the other hand, with the 1st operation gestalt, as shown in drawing 1, the AlAs layer of n draw spike section mirror is oxidized, and a current constriction is performed. The difference in the property of VCSEL by the difference among these current constrictions is explained using drawing 6 (a) and drawing 6 (b). Drawing 6 (a) is a typical sectional view at the time of performing a current constriction by n mold mirror side, and, in the case of the 1st operation gestalt, corresponds. Since there is a certain amount of distance (abbreviation one half of the thickness of an active region 130) in accuracy between the selective oxidation field 141 which performs a current constriction, and the barrier layer 131 which is a luminous layer as shown in drawing 6 (a), a current path will spread to some extent in the meantime. Therefore, a actual luminescence field becomes larger than the field by which a constriction was carried out in the selective oxidation field 141. The phenomenon of this luminescence field amplification happens by the same principle, also when a current constriction is performed by p mold mirror side of drawing 6 (b) (this operation gestalt). However, extent of amplification of a luminescence field differs by whether the active region 130 where amplification of a current path takes place is n mold, or it is p mold. That is, since current breadth is small, as the direction of p mold field where the current by the hole where mobility is small is dominant shows drawing 6 (a) and drawing 6 (b), a luminescence field becomes small from the case where the direction of this operation gestalt is the 1st operation gestalt. Thus, in VCSEL500 of this operation gestalt, rather than VCSEL100 of the 1st operation gestalt, the locked-in effect of a bigger current and light can be obtained, and a threshold current can be reduced further.

[0063] Next, the manufacture process of VCSEL500 is explained, referring to drawing 7 (a) - (d). In

addition, the same reference mark is given to the same component as what was shown by drawing 5 R> 5, and the explanation is omitted here.

[0064] first, it is shown in drawing 7 (a) -- as -- the semi-conductor substrate 110 top -- two or more semi-conductor layers for the lower mirror 120, an active region 130, and the up mirror 140 -- MBE -- law (molecular beam epitaxy method) and MOCVD -- it grows epitaxially by law (metal-organic chemical vapor deposition) etc. In this way, the lower layer of the n lateral electrode 160 and the p lateral electrode 170 are formed in the obtained VCSEL wafer. Patterning of the lower layer of the n lateral electrode 160 is carried out so that the location and configuration of an up mesa part may be specified. The lower layer of the n lateral electrode 160 is formed so that an electrode edge may become taper-like using the lift-off method etc. The lower layer of the n lateral electrode 160 is formed from Au/AuGe/nickel (5nm in thickness of thickness 150 nm:nickel of thickness 100 nm: AuGe of Au), and the p lateral electrode 170 is formed from Cr/Au (150nm in thickness of thickness 50 nm: Au of Cr).

[0065] Next, as shown in drawing 7 (b), the 1st mesa etching is performed using the RIE method using Cl₂. The n lateral electrode 160 functions as a mask to this etching. It is made for this etching to arrive at the interior of the barrier layer field 130 across the lowest edge of the up mirror 140 with this operation gestalt.

[0066] Next, after forming the up layer (additional layer) of the n lateral electrode 160 so that the side attachment wall of an up mesa may be covered as shown in drawing 7 (c), the 2nd mesa etching is performed using the RIE method using Cl₂. The up layer of the n lateral electrode 160 is formed from nickel (400nm in thickness). The n lateral electrode 160 functions as a mask to the 2nd etching. This etching is controlled to etch even the AlAs layer nearest to the top face of the lower mirror 120.

[0067] Finally, as shown in drawing 7 (d), only the best AlAs layer of the lower mirror 120 is oxidized from the exposed mesa side-attachment-wall front face, and the selective oxidation field 510 is formed.

[0068] Next, the oxidation approach used with this operation gestalt is explained.

[0069] This oxidization is performed by carrying out boiling of 500 in VCSELH₂O₂. Selective oxidation can be easily realized by the simple approach, without using the large-scale equipment which this used in the process which manufactures VCSEL100 of the 1st operation gestalt as shown in drawing 3.

[0070] Furthermore, in the manufacture process of VCSEL500 of this operation gestalt, the lower layer of the n lateral electrode 160 is used as an etching mask of an up mesa part (refer to drawing 7 (a)). Since the lower layer of the n lateral electrode 160 has a taper configuration in an edge, a mask edge is etched little by little during etching, and it retreats in a longitudinal direction. In other words, while the longitudinal direction size of an etching mask (lower layer of the n lateral electrode 160) contracts, mesa etching advances. Consequently, as shown in drawing 7 (b), the configuration of an up mesa part also turns into the shape of a taper to which the side attachment wall became slanting. A cone angle turns into about 80 degrees. A photo mask is required, in order to carry out patterning of the up layer of the n lateral electrode 160 so that the up layer of the n lateral electrode 160 may cover only the top face and side face of an up mesa part. Since the same thing as the photo mask used for forming the lower layer of the n lateral electrode 160 should just be used for this photo mask, it does not need to create a photo mask in an excess.

[0071] As mentioned above, in VCSEL500 of this operation gestalt, selective oxidation is performed to p mold lower mirror 120, and a current constriction is performed within p mold lower mirror 120. Consequently, rather than the case where selective oxidation is performed to n draw spike section mirror 140, a stronger current and light can close, eye ** can be realized, and a threshold current can be reduced further.

[0072] Moreover, since it is etched so that an up mesa part may have a taper configuration, as compared with the case of the first operation gestalt, one number of sheets of a photo mask can be reduced. Consequently, VCSEL can be manufactured more by low cost.

[0073] Moreover, as a result of performing selective oxidation by carrying out boiling in 2OH₂, VCSEL which had selective oxidation easily is realizable by the simple approach.

[0074] (3rd operation gestalt) Drawing 8 is the sectional view showing typically the configuration of

VCSEL800 by the 3rd operation gestalt of this invention. In addition, the same reference number is given to the same component as VCSEL100 of the 1st operation gestalt, and the explanation is omitted here.

[0075] The laser mesa 820 contains the up mesa part (diameter of about 10 micrometers), and the lower mesa part (diameter of about 11 micrometers). An up mesa part is formed by performing the 1st mesa etching by Fukashi who leaves the one lowest pair of the up mirror 140, and the lower mesa part is formed from the 2nd mesa etching which etches one pair of lower mirror 120.

[0076] The lower mesa part of the laser mesa 820 has a diameter larger than an up mesa part about 1 micrometer. The two-layer AlAs layer contained in the lower mesa part has oxidized selectively toward the mesa center section from the mesa side attachment wall, and the two-layer selective oxidation field 810 is formed.

[0077] With this operation gestalt, as shown in drawing 8, the AlAs layer of both n draw spike section mirror 140 and p mold lower mirror 120 is oxidized selectively. Consequently, a current constriction is performed by the upper and lower sides of an active region 130, and the breadth of a current path does not arise. Therefore, a perfect current and light can close, eye ** can be realized, and a low threshold current is attained rather than VCSEL500 of the 2nd operation gestalt.

[0078] Next, the manufacture production process of VCSEL800 is explained.

[0079] The fundamental part of a process is the same as the thing of the manufacture process of VCSEL100 of the 1st operation gestalt. A point of difference is in the difference in the etching depth of two mesa etching, and the difference in the oxidation approach. The etching depth is controlled on the occasion of the 1st mesa etching to leave the one lowest pair of the up mirror 140, and is controlled on the occasion of the 2nd mesa etching to etch only the one best pair of the lower mirror 120. Each control of these etching depth is performed by adjusting etching time. In addition, with this operation gestalt, although the selective oxidation field 810 of one layer was formed in the both sides of a barrier layer, respectively, the number of the selective oxidation fields 810 is not limited to this. For example, the selective oxidation field 810 of one layer may be established in an active-region 130 upside, and the two-layer selective oxidation field 810 may be established in the active-region 130 bottom.

[0080] Selective oxidation for forming an active region 810 is performed using the mixed liquor of H₂O₂ and FeCl₂ (iron(II) chloride). Mixed liquor is created by mixing 100 cc H₂O₂ and 0.025g FeCl₂, and is heated at about 60 degrees C. Selective oxidation is performed by dipping VCSEL into this heated mixed liquor. The depth to the direction of a mesa core of oxidation is controlled by adjusting oxidation time amount. Since FeCl₂ which promotes oxidation is used for this approach, it can perform oxidation more effective than the oxidation approach used for VCSEL500 of the 2nd operation gestalt in a short time. In addition, you may oxidize by using FeCl₃ (iron(III) chloride) instead of FeCl₂. This oxidation approach may be applied to the selective oxidation of VCSEL of drawing 1 R> 1 and drawing 5, and the oxidation approach in the 1st or 2nd operation gestalt may be applied to reverse at the selective oxidation of VCSEL of drawing 8. The structure of VCSEL does not limit especially the oxidation approach for manufacturing it.

[0081] In VCSEL800 of this operation gestalt, as explained above, as a result of oxidizing selectively the AlAs layer of both n draw spike section mirror 140 and p mold lower mirror 120 and performing a current constriction by the upper and lower sides of an active region 130, a perfect current and light can close, eye ** can be performed, and VCSEL of a low threshold current can be realized. Moreover, since three are oxidized in addition to FeCl₂ or FeClH₂O₂ with the work which promotes the oxidation by H₂O₂, a selective oxidation process more effective in a short time can be performed.

[0082] (4th operation gestalt) Drawing 11 is the sectional view showing typically VCSEL1100 by the 4th operation gestalt of this invention. VCSEL1100 of drawing 11 is formed on the p mold GaAs substrate 110. VCSEL1100 has the laminated structure for the laser oscillation containing the lower dielectric mirror 1120, an active region 130, and n draw spike section mirror 140. The lower dielectric mirror 1120 is formed in opening prepared by selective etching from the rear face of a substrate 110. The active region 130 is formed on the substrate 110, and it faces across it between the lower dielectric mirror 1120 and the up mirror 140. The configuration of the above-mentioned laminated structure has

the same configuration as the 1st operation gestalt except for the lower dielectric mirror 1120. The lower dielectric mirror 1120 has the structure where the laminating of five pairs of SiO two-layer / TiO two-layer was carried out.

[0083] The mesa 150 contains two steps of mesa parts, and the way of the mesa part below a upside mesa part has the big outer-diameter dimension. The outer diameter of an up mesa part [in / in a detail / this operation gestalt] is about 8 micrometers more, and the outer diameter of a lower mesa is about 9 micrometers. The mesa 150 with such two-step structure is formed by the manufacture approach which described the 1st operation gestalt.

[0084] Although the periphery of the p mold AlAs layer contained in an up mesa part has not oxidized, the periphery of the p mold AlAs layer contained in a lower mesa part has oxidized selectively. Consequently, the p mold each AlAs layer contained in a lower mesa part is divided into the surrounding selective oxidation field and the semiconductor region of the shape of a core surrounded by the selective oxidation field. A selective oxidation field functions as current aperture. The actuation current for laser oscillation flows the inside of a core semiconductor region to a lengthwise direction, as a result of a constriction's being carried out by the insulating selective oxidation field.

[0085] With this operation gestalt, the 1st layer in which only one side of the mirrors of a couple contains aluminum, and the 1st layer were equipped with the DBR structure where the laminating of the 2nd layer from which a refractive index differs was carried out, and has oxidized selectively [two-layer / near an active region 130] only the 1st layer (layer containing aluminum which is easy to oxidize). Thus, one side of a vertical mirror may be constituted from a different ingredient layer from another side by this invention.

[0086] (5th operation gestalt) Drawing 12 is the sectional view showing typically the VCSEL array 1200 by the 5th operation gestalt of this invention. The VCSEL array 1200 of drawing 12 is equipped with the structure where two or more light-emitting parts (vertical resonator) were accumulated on one substrate. The same reference number is given to the same component as VCSEL100 of the 1st operation gestalt, and the explanation is omitted here.

[0087] The lower mirror 120 is shared between this operation gestalt by two or more vertical resonators, and an actuation current flows between the lower mirror 120 and each up mirror 140 with it. Consequently, laser oscillation arises within each resonator. Since structure and the same structure are established in the slight current and the optical closing depth of the 1st operation gestalt in each resonator, a low threshold current is attained and, moreover, a high optical output is obtained.

[0088] In addition, in the operation gestalt of all above, even if it replaces p mold and n mold, the effectiveness of the invention in this application is not spoiled. Moreover, it cannot be overemphasized that ingredient systems, such as InP systems other than a GaAs system and a GaN system, may be used.

[0089] As mentioned above, according to this invention, though it is the mirror of a single configuration by having an above-mentioned configuration, even if it uses a selective oxidation process, resistance of a mirror does not increase, but the field luminescence semiconductor laser of low resistance and a low threshold current is offered.

[0090]

[Effect of the Invention] A constriction can be efficiently carried out to the narrow space to which a current is specified in a core semiconductor region, controlling the increment in electric resistance of the whole DBR structure, since only some layers contained in DBR structure will include the selective oxidation field which prevents a current according to invention according to claim 1 as explained above. Consequently, a current is poured into a narrow field among the luminous layers of active-region notes, and laser oscillation is attained with a low threshold current.

[0091] According to invention according to claim 2, by within the limits which the current of DBR structure passes, it will be distorted and the semi-conductor will carry out the laminating that there is nothing.

[0092] According to invention according to claim 3, since the structure for a current constriction will be arranged in the location near an active region, an efficient current constriction is attained. Moreover, it originates in the longitudinal direction refractive-index difference between a core semiconductor region

and a selective oxidation field, and the light produced in the luminous layer is shut up within limits specified to a core semiconductor region.

[0093] According to invention according to claim 4, current density is raised by the mesa and laser oscillation in a lower threshold is realized. Moreover, a selective oxidation field can be formed from the periphery section of a mesa, and a narrow core semiconductor region can be prepared easily.

[0094] According to invention according to claim 5, the efficiency of a current constriction can be raised, controlling the increment in electric resistance of a mesa.

[0095] According to invention according to claim 6, it becomes easy to cover the taper part of DBR structure by the protective coat. Therefore, the thing which is included in the other part and which oxidize the 1st layer selectively becomes easy, without the 1st layer of the taper part of DBR structure oxidizing on the occasion of manufacture. Consequently, a manufacturing cost is reduced. Moreover, the pattern of a protective coat can also be specified using the photo mask used in order to specify the pattern of the etching mask for mesa formation.

[0096] According to invention according to claim 7, when an electrode covers the side attachment wall of a taper part, mirror resistance is reduced further.

[0097] According to invention according to claim 8, an electrode may function as a protective coat in the case of a selective oxidation process into a production process.

[0098] distorted between the layers which constitute DBR structure according to invention according to claim 9 -- it becomes possible for everybody to take care not to be generated, and the crystallinity improves.

[0099] According to invention according to claim 10, the selective oxidation field for a current constriction will be arranged to the both sides of two mirrors. Therefore, a current can be efficiently poured into the narrow range of a luminous layer.

[0100] According to invention according to claim 11, a manufacturing cost can be reduced.

[0101] According to invention according to claim 12, a selective oxidation field can be formed easily. It is because AlAs tends to oxidize remarkably as compared with GaAs. Moreover, the refractive-index difference between AlAs and GaAs is large, and can obtain a reflection factor with a high mirror with a small number of layers.

[0102] According to invention according to claim 13, the reactive current can be reduced, without making mirror resistance completely increase. It is that they put on a surface PASSHI bait field, and replace although the side face of DBR structure includes many crystal defects of the nonluminescent recombination center which generates the reactive current by breakage received at the time of manufacture, and is because the cause of the reactive current decreases.

[0103] According to invention according to claim 14, a PASSHI bait field can be formed easily. It is because the PASSHI bait of the front face including a defect of the 1st layer and the 2nd layer can be carried out simply according to the selective oxidation process.

[0104] According to invention according to claim 15, the array of a surface emission-type laser is obtained. Since the configuration for a current constriction is prepared about each DBR structure which constitutes an array, a threshold current is reduced, consequently the whole power consumption becomes low.

[0105] Since only a part will be covered by the protective coat among the multilayers containing two or more 1st layer and two or more 2nd layer according to invention according to claim 16, only the 1st layer is oxidized exactly and the thing which are located in the part (lower mesa part) which is not covered by the protective coat and for which a selective oxidation field is formed easily becomes possible.

[0106] According to invention according to claim 17, it becomes easy to deposit a protective coat on the side attachment wall of the inclined up mesa part.

[0107] According to invention according to claim 18, the need of removing a protective coat is lost and a production process is simplified.

[0108] According to invention according to claim 19, formation of a selective oxidation field is simplified and a manufacturing cost is also reduced.

[0109] According to invention according to claim 20, an oxidation rate can be raised using an operation of ferric chloride.

[Translation done.]

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)